ENDEAVOUR

Revista trimestral destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad

---

VOLUMEN XVII Octubre 1958 NUMERO 68

SUMARIO

5:42/49:070.432
Editorial: El lenguaje de la ciencia 171

551.24
Algunos factores que rigen la evolución de la corteza terrestre — V. V. BELOUSSOV — 173

591.484.6:577.15
La bioquímica del ojo y sus relaciones con las propiedades ópticas — ANTOINETTE PIRIE — 181

576.312.2:547.963.32
Recientes progresos en biología molecular — M. F. PERUTZ — 190

54:133.5"15"(438)
La química y la alquimia en la Cracovia del siglo XVI — WŁODZIMIERZ HUBICKI — 204

541.515
Radicales bloqueados — H. P. BROIDA — 208

523.4:531.352:621.396.9
La observación de los satélites: su método y fines — E. G. C. BURT — 216

049.3
Revista de libros 223

Revistas resumidas de libros 227

Notas sobre los colaboradores 228

Libros recibidos .. .. Cubierta III

Redactor-jefe: TREVOR I. WILLIAMS
Redactores auxiliares: G. N. J. BECK (*Ediciones extranjeras*)
W. A. OSMAN

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

El lenguaje de la ciencia

El progreso de la ciencia depende de numerosos factores. No es el menos importante de ellos la existencia de medios adecuados para el rápido intercambio de ideas y resultados experimentales entre los investigadores que trabajan en una misma rama. Es paradójico, sin embargo, que en una actividad humana que se vanagloria de su propio sistematismo, la satisfacción de esa necesidad se haya dejado casi enteramente al azar, sin que apenas se procure formular y poner en práctica unos principios que estén de acuerdo con las exigencias de la hora actual. Naturalmente, no puede decirse que escasee la literatura científica, tanto en forma de libro como de revista: el *World List of Scientific Periodicals* recoje más de 50 000 títulos. Todo científico sabe muy bien que hoy es ya imposible leer todo lo que acerca de un tema determinado se publica, cuánto más hallar tiempo para otras lecturas. Sin embargo, una amplia lectura es cada día más importante ya que, con gran frecuencia, es en esas zonas limítrofes de la ciencia, en las que se superponen distintas disciplinas, donde se producen los resultados más interesantes.

Si bien este problema de la gran cantidad de material de lectura es, sin duda, bastante serio, también es cierto que se han hallado para él ciertas soluciones de bastante efectividad. La más importante es la preparación de resúmenes analíticos, servicio de inmensa utilidad. Además, el enorme número de revistas científicas no es en sí mala cosa: las menos importantes sirven como filtro — aunque no siempre enteramente eficaz — que reserva los trabajos de verdadera importancia para las publicaciones de más amplia circulación y elevado nivel.

No menos importante es el problema del lenguaje en que debe presentarse la obra científica, problema hasta hoy sin resolver. Como en otros muchos de nuestra época, existe un tácito acuerdo general de que es necesario establecer y aplicar unos principios de alcance internacional; pero no acuerdo sobre esos principios. Es evidente que en este tipo de problema la buena voluntad y los deseos platónicos no conducen a resultados prácticos y rápidos; por ello mismo es preciso definir el objetivo que se persigue y establecer los medios de alcanzarlo. Mientras tanto, la barrera del lenguaje hace que numerosos hombres de ciencia continúen ignorando durante mucho tiempo los trabajos que en otros países se realizan sobre materias que son de su inmediato interés. La expansión de la investigación científica en países que hasta ahora no habían hecho notables aportaciones en este terreno da aún mayor urgencia a esta cuestión.

Nadie discute la realidad de esta situación. Todo el mundo sabe, por ejemplo, que una gran parte de la literatura científica que se publica en el mundo aparece en idioma ininteligible para más de la mitad de todos los científicos del mundo. La proporción de revistas que se publican en los diferentes idiomas muestra una gran variedad. En términos aproximados, 44% se publican en inglés, 14% en alemán, 13% en francés, 8% en ruso, 5% en español, 4% en italiano, y el resto en los demás idiomas. Tales cifras, que sólo son aproximadas, varían de unas ciencias a otras, pero en general indican la situación presente. Además, esas proporciones habrán de variar en época muy próxima. El número de revistas en ruso aumentará muy rápidamente, así como la producción científica china, que por razones políticas tendrá seguramente al ruso como segunda lengua. Y es posible que el hindí y otros idiomas hoy extraños al mundo occidental lleguen a convertirse en importantes vehículos del pensamiento científico. A menos que se tomen medidas para remediar esta situación, es evidente que habrá de complicarse aún más y hacerse más difícil.

Suponiendo — y es ésa una suposición que en las presentes circunstancias necesita no poco optimismo — que se pudiera llegar a un acuerdo internacional para hacer frente a esas dificultades, ¿qué principios de acción deberían establecerse? Se abren ante nosotros tres caminos posibles, en el supuesto de que rechacemos el actual *laissez faire*. Primero, intentar establecer un lenguaje único para la comunicación del pensamiento científico. Segundo, seleccionar algunos idiomas de los que hoy más se usan en el campo de la ciencia. Tercero, ampliar la producción y utilización de traducciones de la adecuada calidad.

Al considerar esas posibilidades es necesario tener en cuenta tanto los objetivos inmediatos como los más lejanos. Para satisfacer las necesidades urgentes, y si consideramos la situación tal como es y no como quisiéramos que fuera, la ampliación de las traducciones parece ser el único camino posible. Así lo ha comprendido ENDEAVOUR desde su creación en 1942; hoy consideramos que sus ediciones en lengua extranjera son indispensables

para nuestro propósito de suministrar datos de valor internacional sobre el progreso de la ciencia. La gran expansión en fecha reciente de las traducciones científicas es prueba de que esta doctrina encuentra aceptación general. Gran parte de esta expansión se debe al repentino florecimiento de la literatura científica en lengua rusa, que ha venido a crear una nueva faceta de este problema, pues nos encontramos ante la aparición súbita y sin precedentes de importantes trabajos científicos en una lengua que el mundo de la ciencia ha considerado hasta ahora como totalmente extraña. En tales circunstancias, el Occidente no tiene otra posibilidad sino conocer esos trabajos por medio de traducciones. Y debemos señalar que esta situación no se da en el sentido contrario: por lo menos el 50% de los científicos rusos pueden leer, al parecer, el inglés, el francés o el alemán; y una proporción considerable conocen dos de esas lenguas.

Aunque sea indispensable, este sistema de las traducciones no puede extenderse ilimitadamente. Siempre entraña un gasto inútil de tiempo, dinero y actividad humana; es lento y puede conducir a malas interpretaciones. Respecto a esta última limitación, debemos señalar que, en general, no se reconoce lo suficiente la dificultad de la traducción exacta de textos muy especializados. En algunas ramas científicas en rápido desarrollo existen conceptos esenciales para los que aún no se han acuñado términos apropiados en algunas lenguas; sólo una adecuada circumlocución puede traducir eficazmente el sentido del original. Por otra parte, aunque es evidente que el crecimiento de los servicios de traducción será inevitable en los próximos años, no debemos ignorar el peligro que ello entraña, pues habrá de conducir a la creación de una extensa y costosa organización cuya existencia misma suponga un obstáculo para la adopción de otros procedimientos que, a la larga, pudieran ser más satisfactorios.

Claro es que el uso de un lenguaje internacional resultaría muy conveniente desde muchos puntos de vista, pero tanto su elección como su aplicación habrían de presentar enormes dificultades. La elección de un lenguaje único para la comunicación de los resultados de actividades tan importantes como son las científicas hallaría toda clase de obstáculos políticos y de origen nacionalista. Muchos podrían evitarse si se adoptara una lengua muerta o artificial, como el latín, el esperanto, o interlingua. Los idiomas artificiales presentan la dificultad fundamental de que su propia naturaleza los hace poco adecuados para la comunicación de matices sutiles de significado; sirven bastante bien para la descripción de hechos, pero no para la comunicación de conceptos, sobre todo si se trata de nociones originales. El latín no tiene tal defecto ya que en su larga evolución ha adquirido considerable flexibilidad; pero esa evolución se detuvo virtualmente antes del comienzo de la ciencia moderna. Su vocabulario y sintaxis son por lo tanto inadecuados para las necesidades actuales. Es una gran lástima que el latín haya perdido esa vitalidad y que hoy apenas tenga uso como lenguaje internacional.

La elección de un lenguaje común tendría la grande y evidente ventaja de que nadie se vería obligado a aprender más lengua extranjera que la designada como internacional. A esto se añade el que todo científico, para poder hacer uso eficaz de esa lengua internacional, tendría que aprender no sólo a leer en ella, sino a escribirla bien, lo cual es bastante difícil. Pero, de ese modo, el esfuerzo de aprender se limitaría sólo a un idioma.

Quizás, como solución intermedia, sea más aceptable el sistema de reconocer sólo dos o tres lenguas modernas como vehículos de comunicación internacional en el ámbito de la ciencia. Pero aun cuando se pudiera adoptar rápidamente tal decisión, sus efectos no comenzarían a hacerse sentir hasta dentro de varios años. Para que tal decisión fuera efectiva sería preciso establecer reformas importantes en los sistemas de enseñanza de algunos países, ya que el conocimiento a fondo de una lengua debe iniciarse en los primeros estadios de la educación. Pero las dificultades que puedan presentarse no deben ser obstáculo para llegar a una decisión; por lo pronto, la enseñanza de las lenguas es ya principio reconocido en la mayoría de los planes de enseñanza, y no debiera resultar imposible, ya que de ello tanto depende, sustituir un lenguaje por otro si se demostrara ser así necesario.

La barrera de los idiomas es notoriamente dañina en el mundo de la ciencia, así como también lo es en el de la educación, la política, la industria y el comercio, y en todo tipo de relación internacional. Siempre cabe que si los científicos mostrasen al mundo el camino de la comprensión, también lo siguieran los demás. Y si bien es cierto que un lenguaje común no asegura la armonía entre las naciones, también es por otra parte evidente que sí sirve para facilitar una más clara comprensión, cosa que, a nuestro juicio, resulta urgentemente necesaria.

Algunos factores que rigen la evolución de la corteza terrestre

V. V. BELOUSSOV

Los procesos que rigen los movimientos de la corteza terrestre son extremadamente complejos. Sin embargo, podemos observar en ellos un orden suficiente que nos permite comprender cómo la corteza terrestre ha alcanzado su aspecto actual. Estas deducciones son asimismo útiles para la prospección minera y otras actividades de carácter práctico, además de servirnos para predecir probables cambios en edades futuras. Estos problemas ocupan la atención de los geofísicos del mundo entero, pero este artículo se refiere especialmente a las investigaciones teóricas y prácticas realizadas en la Unión Soviética.

Todo el mundo sabe que la corteza terrestre no está en reposo, que se halla siempre en movimiento, elevándose lentamente en algunas partes y hundiéndose en otras; los movimientos repentinos toman la forma de terremotos. La variedad y complejidad de los movimientos corticales y las leyes que los rigen son sin embargo aparentes sólo a los especialistas. Esos movimientos tectónicos de la corteza reflejan la vida interna de nuestro globo, la cual es todavía muy poco conocida. El estudio de esos movimientos, su variedad, secuencias y relaciones mutuas es de gran interés científico. Dentro de la Tierra aunque las condiciones son tales que hemos de suponer que modifican las propiedades de la materia, dichas condiciones son, sin duda, diferentes a profundidades distintas, y los enlaces moleculares y atómicos no quedan completamente rotos. Por consiguiente, es muy difícil establecer las propiedades de la materia en el interior de la Tierra, al menos mientras continúe siendo imposible reproducir experimentalmente las condiciones que allí se dan.

En todas las especulaciones referentes a los procesos que tienen lugar en el interior de la Tierra, así como en la formulación de teorías geotectónicas y sísmicas, han de tenerse en cuenta las leyes que rigen los movimientos de la corteza terrestre. Al estudiar los seismos, tiene cierta importancia práctica el conocimiento de la tectónica puesto que facilita la base para establecer métodos de predicción del momento y lugar de terremotos.

El conocimiento de los factores que gobiernan los movimientos tectónicos adquiere una importancia práctica todavía más grande si consideramos la manera en que ha sido formada la actual estructura de la corteza terrestre. La distribución, extensión, composición y espesor de los sedimentos y la disposición de pliegues y fallas refleja la suma de los efectos de movimientos tectónicos pasados. Un conocimiento de la historia de esos movimientos nos permite predecir la distribución y contornos de las masas de las diferentes rocas. Ciertas riquezas minerales acompañan a tipos particulares de rocas, o a estructuras particulares como pliegues y fallas. Los principios que rigen el desarrollo tectónico de la corteza sirven de fundamento de diversos métodos para determinar la distribución de riquezas minerales y para la preparación de mapas metalogénicos, de la distribución probable de niveles petrolíferos, capas de carbón, etc.

La rama de la geología que estudia las causas y efectos de los movimientos de la corteza terrestre se denomina geotectónica. Esta ciencia ha sido cultivada extensamente en la Unión Soviética durante los últimos quince o veinte años en sus aspectos teórico y práctico. Este artículo trata de los procesos tectónicos que están teniendo o han tenido lugar en aquellas partes de la corteza terrestre que hoy constituyen los continentes; no trata de la estructura y desarrollo de las cuencas oceánicas. Nuestro estudio está basado principalmente en los resultados de las investigaciones soviéticas y, hasta cierto punto, en nuestro propio trabajo.

El estudio de la corteza terrestre muestra que ésta está sometida a varios tipos de movimientos. Se han propuesto distintos esquemas para la clasificación de estos movimientos, pero nos ceñiremos al más sencillo de todos, que clasifica los movimientos en epirogénicos, de formación de pliegues y de formación de fallas. Los movimientos del primer tipo tienen como consecuencia una elevación o depresión lenta de la corteza; el segundo tipo origina el arrugamiento de los estratos formando pliegues, y el tercero la formación de roturas estructurales o fallas.

No todos estos tipos de movimiento tienen la misma importancia. Los movimientos epirogénicos tienen una importancia fundamental. Ocurren en toda la corteza terrestre y sirven como de fondo contra el que se producen plegamientos y fallas en algunos lugares durante ciertos períodos. Existen razones para suponer que los movimientos epirogénicos son la causa básica de los movimientos de formación de pliegues y fallas.

MOVIMIENTOS EPIROGENICOS

Los movimientos epirogénicos que están teniendo lugar hoy día pueden ser estudiados con precisión máxima mediante métodos geodésicos, por ejemplo por nivelación precisa repetida. Los efectos de los movimientos que ocurrieron en tiempos históricos pueden determinarse mediante las noticias de ciudades inundadas por el mar como resultado del hundimiento de la tierra, o de puertos alejados del mar mediante una elevación de la tierra, etc.

Sin embargo, la geología se interesa principalmente por los movimientos epirogénicos que ocurrieron en períodos geológicos anteriores. Esos movimientos dejaron sus huellas en la corteza en forma de depósitos sedimentarios cuya composición y espesor varía de un lugar a otro.

Los estratos sedimentarios que se encuentran en regiones continentales son depósitos formados bien en aguas someras o bien en tierras bajas, tales como deltas y llanuras costeras. Evidentemente, las cuencas oceánicas profundas no han ocupado, en general, el sitio de esas plataformas continentales. De los depósitos formados en tierra emergida sólo han sobrevivido aquéllos acumulados en regiones bajas, los depositados en terreno más alto, por ejemplo en valles fluviales, fueron, en general, erosionados rápidamente por la acción del agua. La acumulación y retención de sedimentos son siempre por sí mismas prueba de hundimiento en la corteza terrestre. Así pues, las partes de la corteza donde se han acumulado sedimentos han debido ser regiones de subsidencia en la época de acumulación.

La composición de los depósitos depende en un grado considerable de las condiciones reinantes durante la época de acumulación en las regiones próximas que se estaban elevando. Si la elevación tuvo lugar rápidamente y con fuerza considerable, aquellas regiones estarían sometidas a erosión rápida, y grandes cantidades de material poco rodado serían acarreadas desde ellas a las regiones de hundimiento. Si la elevación fue lenta, entonces la erosión fue también lenta y sólo fue acarreado un poco de material fangoso para depositarse en la periferia de las regiones de hundimiento. Las partes restantes y más extensas de esas regiones fueron rellenadas con depósitos orgánicos de origen local, predominantemente calcáreos. Así, mediante la determinación de la distribución y composición de estratos sedimentarios de varias edades es posible conocer la distribución primitiva de regiones de hundimiento y elevación, y estimar la relativa velocidad de ésta.

Se puede conseguir aún más información midiendo las variaciones regionales de depósitos de una edad determinada. Por ejemplo, los depósitos jurásicos en el centro de las llanuras rusas tienen un espesor del orden de unos diez metros, mientras que los del Caucaso alcanzan un espesor de varios miles de metros. Se ha establecido que los depósitos en aguas someras en llanuras continentales se acumulan en la medida que permite el hundimiento de la corteza terrestre y que su espesor está relacionado estrechamente con el grado final de hundimiento. Así, es posible separar zonas de mayor o menor hundimiento dentro de las regiones de depósito. El ejemplo mencionado antes muestra que durante el período jurásico la corteza se hundió en la llanura rusa y en el Caucaso, pero la magnitud, y por tanto la velocidad de hundimiento, fue considerablemente mayor en la segunda región que en la primera.

Se han utilizado éstos y otros métodos para estudiar la historia de los movimientos oscilatorios en varias regiones. En la Unión Soviética se han llevado a cabo trabajos de este tipo en la plataforma rusa, en el Caucaso, Crimea, Tian-Shan (Montes Celestes), Kopet-Dag, los Urales y otras muchas regiones. En el curso de esos trabajos se han determinado algunos de los factores que rigen el desarrollo de los movimientos oscilatorios. Pasamos ahora a describir esos factores brevemente.

Cuando tienen lugar movimientos oscilatorios, la corteza terrestre se puede considerar siempre dividida en regiones de subsidencia y de elevación. Se puede observar cierta periodicidad general en el orden de esos movimientos; en ciertas épocas predomina la elevación en todas las regiones, y en otras épocas, el hundimiento. Este hecho nos permite reconocer ciclos geotectónicos en la historia de la Tierra. Cada ciclo empieza con una fase de elevación predominante en la que el área de tierra emergida alcanza un máximo, el relieve es elevado y los mares se reducen; luego sigue una fase de hundimiento en la que la tierra emergida se reduce y convierte en tierra baja,

mientras que los mares se expanden. El ciclo termina con una renovación de la elevación y una reducción de los mares; repitiéndose a continuación el proceso en el mismo orden que antes.

Esta «respiración» de nuestro planeta es una de sus características más notables. Los ciclos mayores son de una duración muy larga: un cálculo aproximado es del orden de 150 millones de años. Los ciclos mejor conocidos son los tres últimos llamados caledoniano, herciniano (o varíscico) y alpino. El primero de ellos abarca los períodos cámbrico, ordoviciense y silúrico; el segundo el devónico, carbonífero y pérmico, y el tercero el triásico, jurásico, cretácico, paleogeno, neogeno y cuaternario. La periodicidad de los movimientos oscilatorios determina la recurrencia en la sucesión de estratos de composición similar (Fig. 1). Puesto que ciertas riquezas minerales se

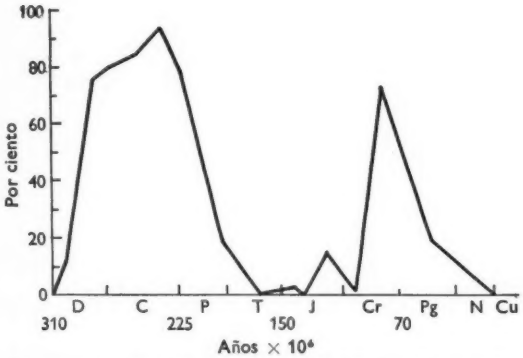


FIGURA 1 – *Cambio en el porcentaje del contenido en caliza en relación con las otras rocas de la plataforma rusa durante los ciclos herciniano y alpino (según A. B. Ronov).*

FIGURA 2 – *Distribución de las riquezas petrolíferas del mundo de acuerdo con los sistemas geológicos (según I. M. Gubkin).*

encuentran en determinados tipos de sedimentos, esta misma periodicidad determina la distribución de aquellas riquezas. Así, por ejemplo, se conocen dos grandes reservas de petróleo y carbón en la corteza terrestre; una de ellas está relacionada con el sistema carbonífero, la otra con el paleogeno (Fig. 2). Los yacimientos principales de sal, yeso, etc. corresponden a los terrenos silúrico, pérmico y neogeno. El último ciclo, el alpino, muestra cierta irregularidad en su desarrollo. Las transiciones de una fase de este ciclo a la próxima tuvieron lugar en épocas distintas en la región del Pacífico (Asia oriental y Norteamérica occidental) y en la región del Atlántico (Europa y Norteamérica oriental).

Una característica interesante de los movimientos oscilatorios es su complejidad; siempre hay superpuestos movimientos de órdenes diferentes. Los hundimientos se superponen a elevaciones locales o parciales y viceversa. La superposición mutua de movimientos de órdenes diferentes, que están evidentemente regidos por procesos que tienen lugar a distintas profundidades de la Tierra, hace posible expresar una determinada elevación particular bien como absoluta — es decir como una elevación de la tierra en relación con el nivel del mar — o bien como relativa, en el caso de un hundimiento menos pronunciado que el de las áreas circundantes. Si una elevación parcial tiene lugar en una región de subsidencia general, el resultado final será evidentemente la suma algebraica de ambos movimientos. En períodos de subsidencia general, la elevación será normalmente sólo relativa, mientras que en períodos de elevación general será absoluta.

Durante los últimos tres ciclos y probablemente también durante los tres o cuatro ciclos precedentes, las masas continentales estuvieron divididas en regiones de dos tipos: geosinclinales y plataformas. Los geosinclinales se caracterizan por movimientos oscilatorios opuestos y extraordinariamente intensos. Consisten siempre de zonas estrechas y alargadas en las que tienen lugar movimientos diferenciales de sentido opuesto y gran velocidad, que alcanza unos milímetros y a veces unos centímetros por año, cuando se toma la media sobre un período largo. En las fajas de hundimiento ocupadas por el mar, se acumulan estratos sedimentarios de espesor muy grande (hasta 10–12 km), y las zonas elevadas toman la forma de crestas montañosas formando islas. Al final de un ciclo tectónico, en la fase en que la elevación predomina sobre el hundimiento, se

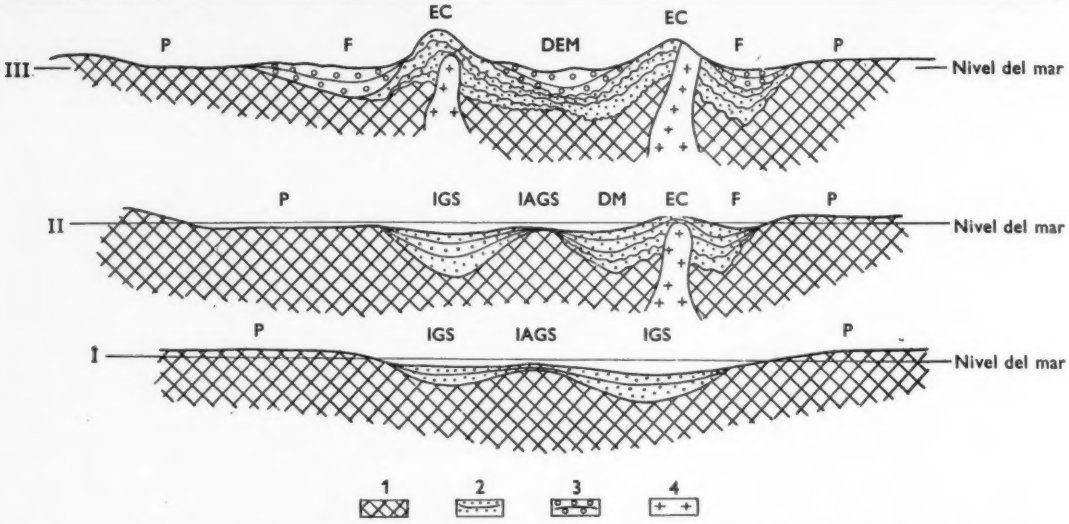


FIGURA 3 – *Diagrama esquemático del desarrollo de un geosinclinal: I. Fase inicial; II. Fase intermedia; III. Fase final de la formación montañosa.* 1. *Infraestructura antigua;* 2. *Depósitos predominantemente marinos;* 3. *Depósitos predominantemente continentales;* 4. *Granitos.* (*P. Plataforma; F. Foso; DEM. Depresión entre montañas; EC. Elevación central; IAGS. Intra-antigeosinclinal; IGS. Intra-geosinclinal; DM. Depresión marginal.*)

forman montañas altas en los lugares de los geosinclinales. La disposición de las regiones de elevación y hundimiento no permanece constante a través de un ciclo tectónico. Dentro de áreas de hundimiento aparecen regiones elevadas; las cuencas residuales son empujadas a un lado gradualmente como ondas e invaden zonas de elevación anterior de tal forma que hacia el final de un ciclo cambian de sitio a menudo regiones de elevación y de hundimiento (Fig. 3). La cadena principal del Caucaso, por ejemplo, se levantó en la era terciaria en una región donde existía en el mesozoico una de las cuencas profundas del geosinclinal caucásico.

Las plataformas se caracterizan por movimientos oscilatorios de baja velocidad y pequeña amplitud, con transiciones suaves de las regiones de elevación a las de depresión. La distribución de regiones elevadas y hundidas es notablemente más estable que en las geosinclinales y cambia menos durante un ciclo, aunque la plataforma se mueve como un todo de acuerdo con el ritmo general, primero hundiéndose y luego elevándose.

En cada ciclo las áreas ocupadas por plataformas aumentan a costa de las áreas ocupadas por geosinclinales. Los ciclos antiguos se distinguen de los posteriores por un crecimiento rápido de las plataformas; éste ha sido uno de los elementos más importantes en la evolución de la corteza, transformando los ciclos tectónicos, como si dijéramos, de ciclos cerrados en vueltas de una espiral.

Puesto que en cada ciclo las regiones previamente ocupadas por geosinclinales se han convertido en plataformas, las distintas partes de una plataforma pueden tener edades diferentes. Podemos distinguir las plataformas jóvenes, desarrolladas en tiempos comparativamente recientes, por ejemplo al principio del ciclo alpino, de las plataformas antiguas, que ya existían en el ciclo caledoniano, por ejemplo (Fig. 4). Los movimientos de las plataformas antiguas son generalmente ligeros mientras que los de plataformas jóvenes son más fuertes. La transformación de la disposición geosinclinal de una región en otra característica de plataforma puede ser un proceso tan gradual que es conveniente admitir un estado intermedio en el que puede decirse que la región forma un parageosinclinal. Las plataformas rusa y siberiana son ejemplos de plataformas antiguas, mientras que la parte oeste de Europa, al norte del geosinclinal alpino, representa una plataforma reciente.

Estas consideraciones nos conducen a preguntar cómo fue la corteza terrestre en los períodos geológicos más antiguos, y como será en un futuro muy remoto. Si los cambios han ocurrido siempre en el mismo sentido, y continúan haciéndolo así, entonces parece probable que en un pasado muy distante no había plataformas y que en un futuro

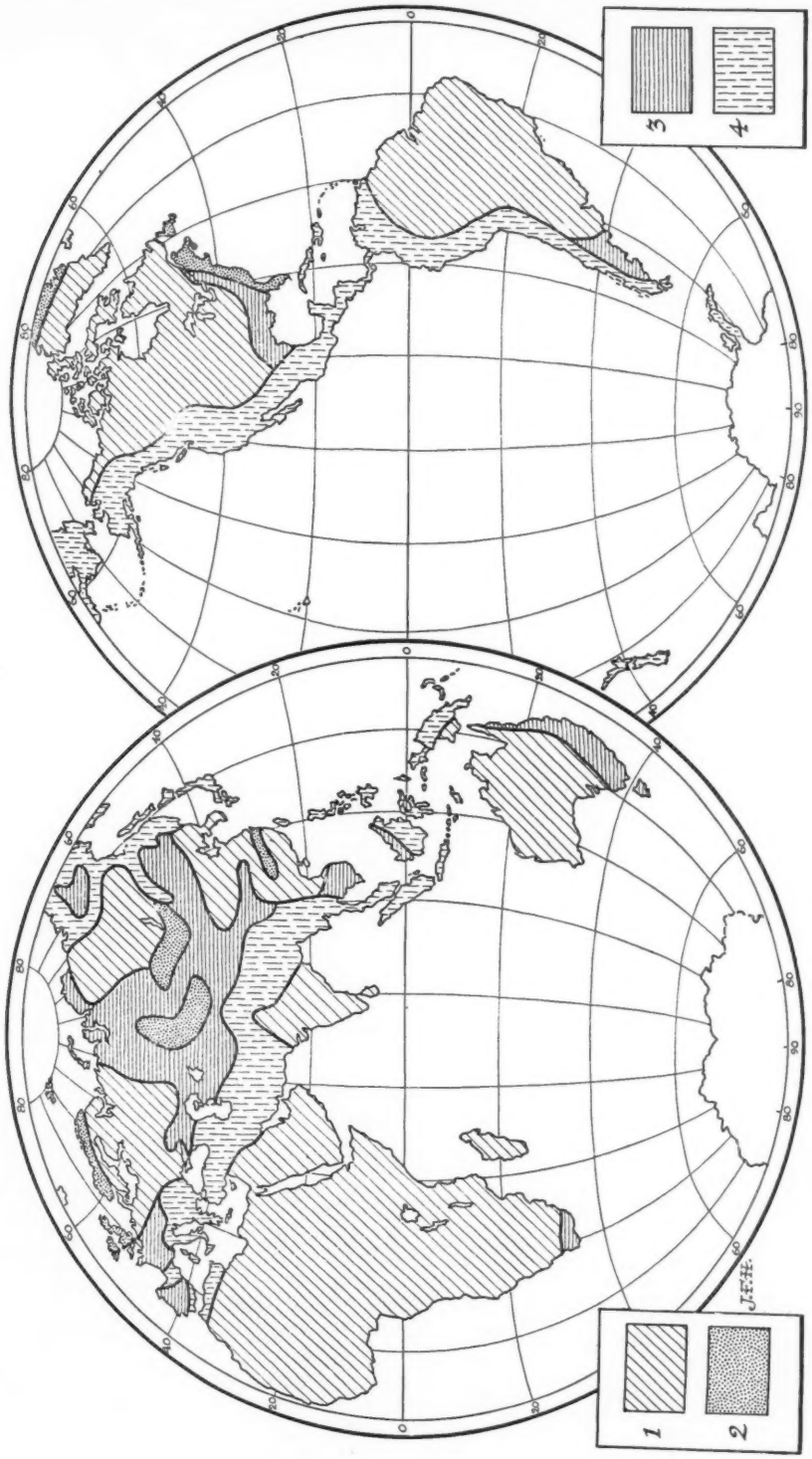


FIGURA 4 – *Esquema tectónico de los bloques continentales:* 1. *Plataformas antiguas.* 2. *Plataformas sobre una base caledoniana plegada.* 3. *Plataformas sobre una base herciniana plegada.* 4. *Geosinclinales alpinas existentes.*

muy lejano no habrá geosinclinales. Es probable que en los períodos más antiguos las plataformas fueran muy pequeñas, o inexistentes, produciéndose entonces movimientos muy intensos en todas partes. Sin embargo, algunos investigadores consideran que en las eras arcaicas la corteza se hallaba en un estado especial al que no corresponden los conceptos de geosinclinal y plataforma. En lo que al futuro se refiere tenemos más base para sugerir que cuando se haya desarrollado una plataforma universal, la corteza entrará en una fase de evolución enteramente nueva.

El carácter de esa fase parecen indicarlo actualmente las condiciones en Asia central y en partes de Tian-Shan, donde las altas montañas están separadas por fosas profundas. En esas regiones las condiciones geosinclinales terminaron al final de las eras paleozoicas. Durante el mesozoico y la mayor parte del terciario existían allí condiciones de plataforma, pero al final del neogeno y en el cuaternario empezó una nueva e intensa serie de movimientos tectónicos. El contraste entre las cadenas montañosas elevadas y las fosas profundas intermedias muestra que los movimientos verticales alcanzaron una amplitud de unos 10 km en un período de varios millones de años. A esta nueva etapa en el desarrollo de la corteza terrestre la llamamos estado de activación de plataformas. No ha empezado solamente en Asia central sino también en el sur de Siberia (Altai, montañas Sayansk), Africa (la región de los valles hendidos) y en otras partes. Esto muestra que la plataforma no es el producto final del desarrollo tectónico y que la «esclerosis» sobre la que han escrito muchos autores no amenaza en forma alguna la corteza terrestre. La plataforma es una estructura inestable y pueden ocurrir movimientos intensos después de haber terminado su desarrollo.

PLEGAMIENTOS

Los plegamientos, como ya hemos mencionado, se desarrollan sobre un fondo de oscilaciones y están subordinados a ellas. No hace mucho tiempo, hubo intentos de explicar todos los tipos de plegamiento de la corteza en función de la compresión horizontal producida por la contracción de la Tierra. Ahora está claro que esta interpretación es a todas luces inexacta.

Ha de tenerse en cuenta en primer lugar que bajo la denominación de plegamiento se clasifican muchos fenómenos diversos de significado distinto. Nosotros, con un grupo de colegas y discípulos, estamos llevando actualmente a cabo extensos estudios de plegamientos en diversas regiones de la Unión Soviética. Los estudios sobre el terreno se complementan con experimentos en el laboratorio, que son realizados, en lo que es posible, bajo condiciones físicas semejantes.

Los resultados de este trabajo están de acuerdo con la opinión de que los sistemas de plegamientos pueden dividirse al menos en tres tipos que difieren en el mecanismo o en la cinética de su formación.

Existen en primer lugar plegamientos en bloques, que son un doblamiento de estratos resultante de una elevación o depresión vertical de bloques de tamaño mediano de la corteza terrestre. Resultado característico son los pliegues con cimas planas y flancos muy inclinados, pero los experimentos con modelos muestran que cuando el bloque — que actúa, como si dijéramos, de molde — yace a grandes profundidades, los estratos cerca de la superficie forman cúpulas en vez de plegamientos en forma de artesa. El desarrollo de estos plegamientos está en muchos casos relacionado con movimientos oscilatorios. La historia de un plegamiento en bloques, revelada por su estructura, indica a menudo que creció lentamente a lo largo de períodos geológicos completos y que con frecuencia estuvo sujeto a movimientos alternados hacia arriba y hacia abajo. Esta relación con los movimientos oscilatorios, que es genética, es muy próxima; podemos reconocer movimientos oscilatorios reales en plegamientos de ese tipo, pero son de poca importancia.

La segunda categoría de plegamientos es la debida a una carga diferencial. Esto es una consecuencia del desplazamiento horizontal de material en una capa que se hace muy plástica a grandes profundidades. Como consecuencia de este desplazamiento, la capa plástica se hace más delgada en la región desde la que fluye el material y aumenta su espesor en las partes donde se inyecta material. Los estratos que reposan sobre el lugar del que emigró el material se hunden, en tanto que se levantan los que se apoyan sobre la región engrosada. A veces la inyección tiene un efecto tan pronunciado que la capa por encima de la región engrosada también empieza a fluir y se forman «núcleos de penetración». La peculiaridad de este tipo de estructura es que no continúa en profundidad: Por debajo de la capa plástica, que representa el papel activo en el plegamiento, las rocas pueden permanecer horizontales o pueden deformarse de una manera totalmente diferente.

Una falta de uniformidad en la carga sobre la capa plástica y la baja densidad de esta capa con relación a las rocas superiores son las causas principales del flujo horizontal del material

plástico por debajo de la superficie. Si se llenan con sedimentos las depresiones producidas por los movimientos verticales y se erosionan las regiones elevadas, la carga sobre la capa plástica resulta desigual, quedando perturbado el equilibrio, con lo que el material plástico puede empezar a fluir desde las depresiones hacia las regiones elevadas. Un relieve invertido, con un suelo elevado sobre las depresiones tectónicas y un suelo bajo sobre las regiones elevadas, puede contribuir a este proceso. También lo favorece una densidad baja de las rocas plásticas, que tienden a ascender a través de los lechos suprayacentes. Este último factor actúa independientemente durante la formación de lo que se conoce como «diapiros», en las que un núcleo de yeso o sal ligera asciende lentamente, como un líquido muy viscoso a través de capas arenosas o arcillosas suprayacentes, más pesadas. Estos plegamientos debidos a una carga diferencial pueden complicar plegamientos en bloque en las regiones donde existen capas plásticas gruesas.

El tipo final de plegamiento es un arrugamiento general producido en las partes de la corteza terrestre donde se desarrollan flexiones longitudinales bajo la influencia de una compresión horizontal.

Las causas de la compresión horizontal no deben buscarse, como han demostrado nuestras investigaciones, en procesos de gran amplitud. Es fundamentalmente mucho más acertado buscar esas causas en procesos más locales, en particular en aquéllos relacionados con geosinclinales en los que predomina un plegamiento general. Los movimientos oscilatorios opuestos producen a menudo la división de la corteza en bloques, y los desniveles entre bloques elevados y deprimidos producen una estructura escalonada. Cuando unos bloques se elevan sobre los circundantes, las partes superiores tienden a «derramarse», ejerciendo una presión sobre los bloques hundidos inmediatos cuyos estratos se pliegan por consiguiente. Un bloque elevado aislado toma forma de hongo y ejerce una presión sobre los bloques vecinos. Cuando varios bloques vecinos se disponen en escalones, cada bloque ejerce presión sobre el de abajo. Así, los bloques se arrugan mutua y sucesivamente, a excepción del más elevado cuya estructura se presenta, por lo tanto, como más simple.

Pueden también relacionarse otras causas locales de plegamiento general con los movimientos oscilatorios opuestos: por ejemplo, si un cierto bloque se eleva primero y luego se hunde, los estratos que lo cubren se alargarán durante el período de elevación y después se plegarán cuando el bloque se hunda de nuevo. Los movimientos oscilatorios múltiples producen pliegues más numerosos y más complejos. Podrían mencionarse otros factores que producen plegamientos generales; todos tienen en común el hecho de que están relacionados con movimientos verticales opuestos en la corteza. Ocurre, pues, un arrugamiento general predominantemente en los geosinclinales.

Las causas mecánicas del «derrame» de las partes superiores de los bloques elevados son dobles. En primer lugar existe el efecto simple de la gravedad; además está el flujo de material desde el interior de la cresta del bloque en proceso de elevación como resultado de la resistencia opuesta por los estratos superiores. Ambos procesos se pueden reproducir fácilmente con modelos.

Hasta hace poco, los geólogos que habían recibido una formación basada en la pervivencia de la hipótesis de la contracción, no se preguntaban acerca de las causas de la formación de pliegues en zonas restringidas, puesto que consideraban que los plegamientos eran un fenómeno general capaz de ser interpretado sólo en una escala regional. Ahora, por el contrario necesitamos establecer la causa local del plegamiento; ésta puede variar de un sitio a otro, aunque, como ya se ha mostrado, está generalmente relacionada con movimientos oscilatorios opuestos en los geosinclinales.

Como las páginas anteriores sugieren, estos varios tipos de plegamientos están relacionados de manera sistemática con un régimen de movimientos oscilatorios. Los plegamientos en bloque ocurren siempre en las plataformas y geosinclinales. Son más intensos en las últimas, pero como parece ser el único tipo de plegamiento que ocurre en las primeras, su aparición independiente es, en general, característica de las plataformas. De ordinario es más fuerte en plataformas jóvenes que en plataformas antiguas.

Los plegamientos debidos a los efectos de una carga diferencial requieren la presencia de series potentes que contengan capas de roca plástica. Existen condiciones favorables en depresiones profundas en las plataformas donde no son raras las capas de sal o yeso en estratos sedimentarios. Con gran frecuencia, en tales circunstancias los plegamientos producen diapiros. Existen condiciones todavía más favorables en las fosas que ocurren entre geosinclinales y plataformas vecinas: en ese caso los estratos son incluso más potentes y pueden contener capas gruesas de sal, yeso o arcilla plástica. Además de los diapiros también pueden formarse pliegues alargados producidos mediante inyección, separados por amplias depresiones de

declive suave. Estos se conocen como «plegamientos de bastidor» y presentan el aspecto de un peine.

Finalmente, los mismos geosinclinales, profundas depresiones rellenas con rocas muy heterogéneas, presentan condiciones no menos favorables para plegamientos que las del tipo antes descrito. Se encuentra este tipo de plegamientos en los geosinclinales, pero en general está dominado por el arrugamiento general y no es siempre distinguible. Por esa razón, los plegamientos en bloque de los geosinclinales no atraen la atención que merecen.

Como se ha demostrado, un arrugamiento general supone movimientos verticales diferenciales y, por consiguiente, está asociado por regla general con geosinclinales en los que enmascara otros tipos de pliegues. Ocurre también en una escala pequeña en regiones aisladas y en plataformas donde tienen lugar movimientos diferenciales locales, por ejemplo en valles profundos.

Existe una relación definida entre el lugar y la época de desarrollo de plegamientos generales por un lado y el progreso de movimientos oscilatorios. El plegamiento empieza en los flancos de los bloques que se elevan dentro de depresiones secundarias y abarca un área cada vez mayor según van elevándose los bloques (Fig. 3).

FALLAS

Se forman fallas tectónicas siempre que las fuerzas que actúan sobre una roca son superiores a su resistencia. Se desarrollan bajo condiciones de tensión, compresión o cizalladura, por ejemplo cuando se arquean los lechos y tienden por tanto a aumentar su área. Cualquier masa elevada presenta, en mayor o menor grado, una tendencia a agrietarse en hendiduras longitudinales, transversales y radiales. Los bloques pequeños delimitados por tales grietas son desplazados hacia arriba o hacia abajo al formarse las fallas normales. Bajo condiciones de compresión local se producen fallas inversas, corrimientos etc. relacionadas con los pliegues.

El comportamiento de las fallas se puede estudiar mediante modelos y es explicable en función de principios físicos. Estos estudios han servido de base a los geólogos tectónicos soviéticos para el desarrollo de la disciplina conocida como física tectónica, que consiste en la aplicación de los métodos y conceptos físicos a la investigación de la deformación de la corteza terrestre. En la Unión Soviética se ha estudiado extensamente el mecanismo de la formación de fallas; en particular se ha hallado que muchas de sus características interesantes se deben al hecho de que se producen no por rotura, sino por un flujo viscoso subsiguiente a la deformación plástica.

Las fallas profundas presentan un problema especial que está muy lejos de haber sido resuelto. Hay razones para suponer que al menos algunas partes de la corteza terrestre están fracturadas por fallas profundas que penetran incluso hasta el zócalo. Estas fallas, que empiezan como grietas débiles, son utilizadas en el curso de movimientos oscilatorios. Además se sugiere que presentan una dirección sistemática, que determina el curso de geosinclinales y de otros complejos tectónicos. Es ciertamente notable que, por ejemplo, prácticamente todas las zonas tectónicas activas en la región entre el Baikal y Crimea tienen el mismo rumbo noroeste. En ellas se incluyen zonas de elevación y de subsidencia, las montañas Sayansk orientales y occidentales, Altai, Tian-Shan, el Kasakstan central, Kopet-Dag, el Caucaso y Crimea. Y además se repite esta misma vergencia noroeste en las líneas que separan zonas de elevación y de hundimiento en la región no alpina de Europa occidental. Claramente las zonas de esa región se formaron sólo al principio del mesozoico, puesto que al final de la era paleozoica las zonas tectónicas presentaban una dirección completamente diferente.

La función de esas fallas profundas en la estructura de la Tierra y su historia actual presentan un problema interesante, el cual nos lleva de lleno a la cuestión de los grandes movimientos horizontales a lo largo de fallas verticales profundas.

Lo dicho nos parece suficiente para demostrar cuán complejos, y al mismo tiempo cuán sistemáticos, son los procesos relacionados con los movimientos de la corteza terrestre.

BIBLIOGRAFIA

BELOUSSOV, V. V. Общая геотектоника (Geotectónica general). Moscú. 1948.

Idem. Основные вопросы геотектоники (Problemas fundamentales de geotectónica). Moscú. 1954.

Idem. Труд. Геофиз. Инст., No. 17, 144, 1952.

Idem. Советс. геол., No. 1, 1958.

GZOVSKIĬ, M. M. Извест. A.H. CCCP, сер. геофиз., Nos. 5 y 6, 1954.

KOSYGIN, YU. A. Основы тектоники нефтеносных областей (Problemas de la tectónica de regiones petrolíferas). Moscú. 1958.

PEĬVE, A. V. Извест. A.H. CCCP, сер. геол., No. 5, 1945.

SORSKIĬ, A. A. Труд. Геофиз. Инст., No. 18, 145, 1952.

TETYAEV, M. M. Основы геотектоники (Problemas de la geotectónica). Moscú. 1941.

KHANI, V. E. Геотектонические основы поисков нефти (Problemas de geotectónica de la prospección del petroleo). Moscú. 1957.

La bioquímica del ojo y sus relaciones con las propiedades ópticas

ANTOINETTE PIRIE

Muchos estudios experimentales de la fisiología de la visión tratan de los pigmentos fotosensibles de los conos y bastoncillos de la retina. Estos son esenciales para la recepción de la luz, pero también son esenciales otras partes del ojo tales como la córnea y el cristalino. Este artículo estudia algunos aspectos de la bioquímica y fisiología de las partes del ojo por las cuales pasa la luz hasta la retina, y trata sobre el ojo en general, haciendo referencia a la adaptación especializada que se ha desarrollado en algunos animales para ayudarles a ver cuando hay poca luz.

El tema de este artículo es la relación entre los fenómenos bioquímicos del ojo y la función de éste como órgano trasmisor de la luz, más bien que como receptor. Los conos y bastoncillos de la retina que contienen los pigmentos fotosensibles, las neuronas de la retina y el nervio óptico están relacionados con la recepción de la luz y con la visión, mientras que el resto del ojo — las partes refractivas y transparentes, tales como la córnea, el cristalino y el cuerpo vítreo — son esenciales para la trasmisión y el enfoque de la luz sobre las células fotosensibles (Fig. 1). Estas partes del ojo tienen que ser a la vez transparentes y ópticamente uniformes; si el hígado o el dedo meñique crecen un milímetro más de lo debido, el cambio no es notable, pero si se aumenta la longitud del glóbulo ocular en un milímetro, el resultado es una visión anormal. Un cambio de forma de cualquiera de las partes del ojo, debido a un trastorno bioquímico o patológico, puede tener un efecto nocivo sobre la función del ojo. Los tobillos pueden hincharse cuando hace calor pero por muy incómodo que ello sea, todavía es posible andar. Pero si se hincha la córnea, aunque sólo sea microscópicamente, debido a la interrupción de la respiración de las células epiteliales por falta de oxígeno, la visión se deforma y la molestia en el ojo es insoportable.

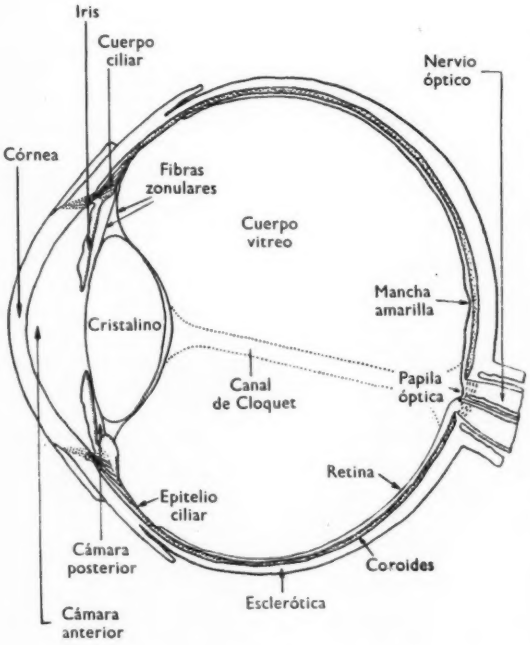


FIGURA 1 – *Sección del ojo humano.*

Algunos experimentos bien sencillos muestran que la trasparencia y las propiedades ópticas de la córnea y del cristalino dependen de su metabolismo. Se han estudiado en una serie de experimentos las dificultades visuales producidas por las lentes de contacto.

La córnea, que es el área circular transparente de la capa externa del glóbulo ocular, consta de tres partes: el epitelio, el cual está compuesto de varias capas de células cuboides; el estroma, formado por fibras de colágeno entrelazadas, con algunas células en los intersticios (Fig. 4); y una monocapa de células endoteliales en la superficie interna. Las personas que llevan lentes de contacto notan que después de haberlas llevado durante algunas horas se les empiezan a irritar los ojos y ya no pueden ver con claridad; la visión se nubla y se deforma, y cualquier objeto brillantemente iluminado parece tener un halo a su alrededor; al quitarse las lentes de contacto recuperan la visión normal. Un examen del ojo cuando está irritado muestra que algunas de las células de la córnea están hinchadas,

y son estas células hinchadas las que causan la distorsión y desenfoque debidos a la refracción irregular de los rayos de luz.

G. K. Smelser [1–3] ha investigado el problema tanto en cobayas como en sí mismo. Colocó lentes de contacto a las cobayas y más tarde examinó la córnea tanto en los animales vivos como en preparaciones histológicas y encontró que las lentes de contacto habían producido una hinchazón del epitelio, con acumulación de líquido entre las fibras de colágeno del estroma. Los gránulos de glucógeno del epitelio habían desaparecido, aumentando la concentración de ácido láctico; eso indica un cambio de un metabolismo oxidativo a uno anaeróbico. Así, Smelser se puso lentes de contacto bajo las cuales podía aprisionar una burbuja de oxígeno o de nitrógeno y entonces investigó el estado de la córnea después de haberlas llevado durante varias horas. El oxígeno mantenía la córnea en estado normal, mientras que el nitrógeno no impedía la hinchazón. Esto era una prueba directa de que la respiración de las células de la córnea es esencial para mantener la función visual. Las células corneales están normalmente cubiertas por una película de humor lacrimal, y el oxígeno del aire les llega por difusión a través de esta película. Usando lentes de contacto que tengan uno o dos agujeritos cerca del borde, el líquido lacrimal puede entrar y salir con los menores movimientos de la lente sobre el ojo y las células epiteliales pueden obtener oxígeno y glucosa suficientes para mantener tanto su respiración como su propia forma y, de esta manera, su función visual.

Estos experimentos se llevaron a cabo en el animal vivo. Otros experimentos, usando ojos o córneas extirpadas, mostraron la misma necesidad de un metabolismo apropiado. La córnea se hinchará si se enfría o si, a la temperatura normal, se le depriva de oxígeno o de glucosa; pero la hinchazón puede desaparecer si se calienta la córnea o se la oxigena en presencia de glucosa [4]. Desconocemos los procesos que entran en juego.

Experimentos muy similares han mostrado que el metabolismo oxidativo del cristalino es necesario para mantenerlo ópticamente transparente y para que no se hinche. El cristalino, encerrado en su cápsula y suspendido por las fibras zonales dispuestas radialmente, crece durante toda la vida, añadiendo nuevas fibras a los bordes exteriores y empujando así las fibras viejas hacia el centro (Fig. 2). Su función es enfocar la luz sobre la retina, y para ello tiene que mantener siempre su claridad y su elasticidad. Los procesos metabólicos que se desarrollan en el cristalino son esenciales. Como la córnea, no sólo absorbe agua y sodio y pierde potasio cuando se enfría o se la priva de oxígeno o de glucosa o cuando se le expone a venenos metabólicos tales como el ácido iodoacético o el cianuro [5], sino que el cristalino se pone opaco cuando se desorganiza su metabolismo en el ser vivo. Si se enfría un ratón, el cristalino se pone opaco. Si se enfría el ojo cortado de una ternera o un conejo pequeño, ocurre lo mismo. Si se priva a una rata de oxígeno, aparecerán cataratas bilaterales. Tales opacidades del cristalino son reversibles y desaparecen cuando se calienta el animal o cuando se le da oxígeno; pero la mayoría de las opacidades del cristalino son irreversibles y pueden terminar en una ceguera casi total.

La glucosa del humor acuoso [6] proporciona la mayor parte de la energía para el metabolismo del cristalino. Este humor es producto del cuerpo ciliar, circula sobre el cristalino, y sale de la cámara anterior por el conducto de Schlemm, el cual conecta el humor acuoso con la circulación venosa, y por difusión a través del iris y de la córnea. La glucosa llega al cristalino por este humor circulante y la mayor parte de ella se metaboliza a ácido láctico en las fibras del cristalino; ese ácido es después eliminado por difusión. Los trastornos en el metabolismo de la glucosa están relacionados con la formación de cataratas.

La catarata diabética ha sido estudiada en el hombre y se puede producir experimentalmente en animales quitándoles el páncreas e inyectándoles aloxán o ácido deshidroascórbico, los cuales producen una diabetes permanente. Se pueden producir también cataratas en pocos días en ratas jóvenes a base de alimentarlas con cantidades excesivas de azúcares, tales como la galactosa o xilosa (Fig. 3); una descripción de los cambios bioquímicos en semejantes cataratas manifiesta la

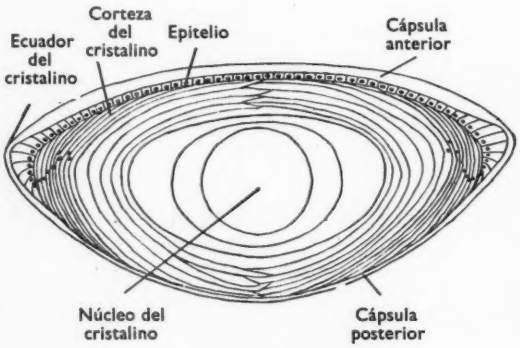


FIGURA 2 – *Sección del cristalino.*

FIGURA 3 – *Catarata galactósica en la rata.*

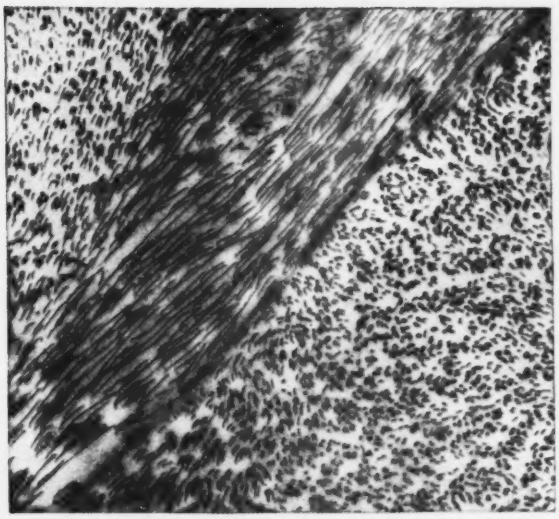


FIGURA 4 (*a la derecha*) – *Micrografía electrónica de haces entrelazados de fibras de colágeno en la córnea* [22]. (× 7150)

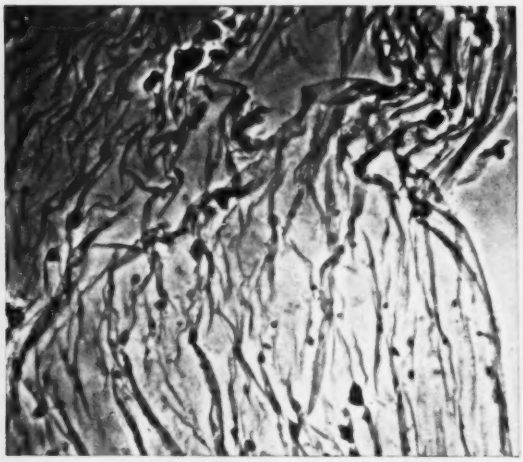


FIGURA 5 – *Membrana hialina del cuerpo vítreo del buey. (Contraste de fase,* × 700.)

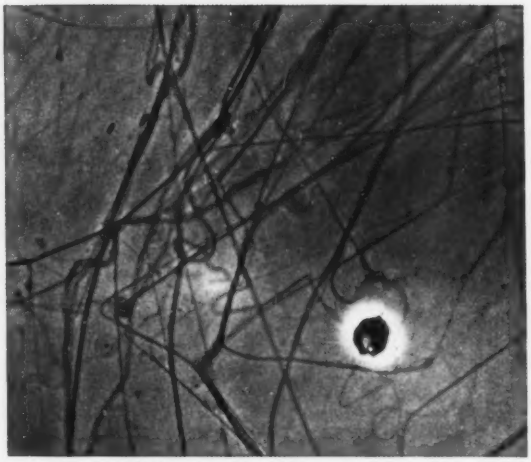


FIGURA 6 – *Fibras gruesas del cuerpo vítreo del conejo. (Contraste de fase,* × 700.)

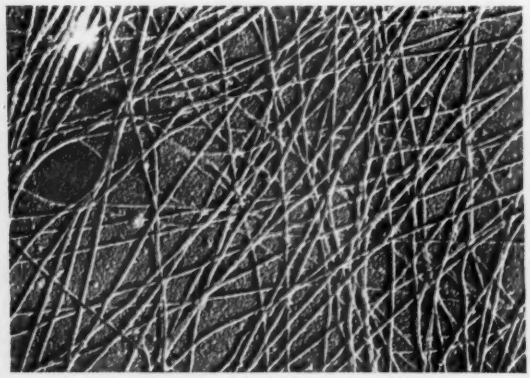


FIGURA 7 – *Micrografía electrónica de las fibrillas de colágeno del cuerpo vítreo del buey* [17]. (× 31 000)

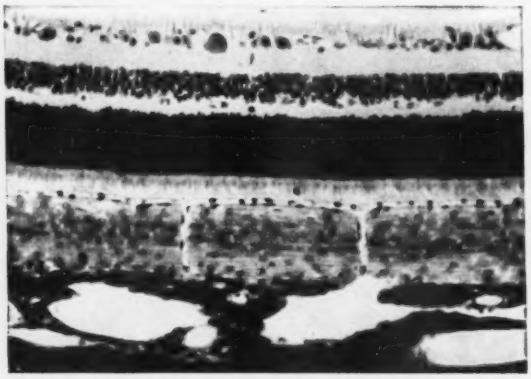


FIGURA 8 – *Sección de la retina de un gato, mostrando las células tapetales planas.* (× 130)

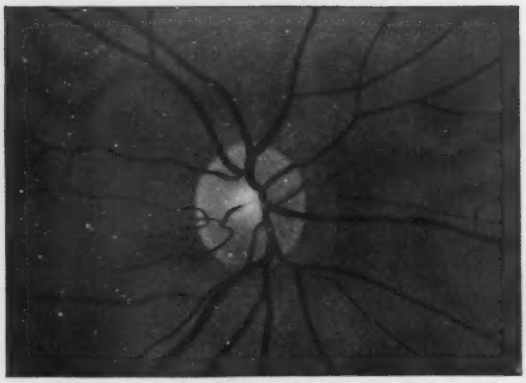


FIGURA 9 – *Retina humana vista con un oftalmoscopio.*

FIGURA 10 – *Retina de un gato vista con oftalmoscopio mostrando el* tapetum.

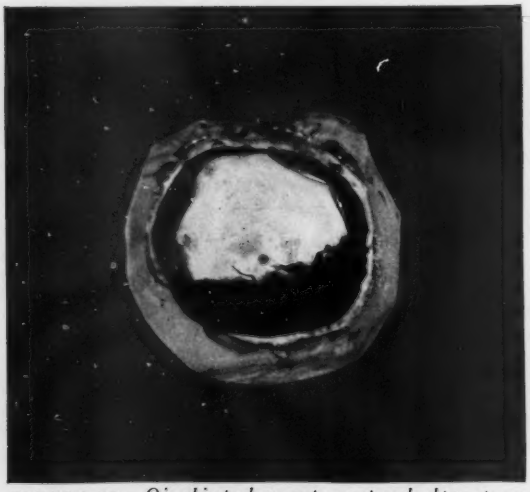


FIGURA 11 – *Ojo abierto de un gato, mostrando el* tapetum.

FIGURA 12 – *Cristales de guanina en la coroides del cazón vista a la luz polarizada.*

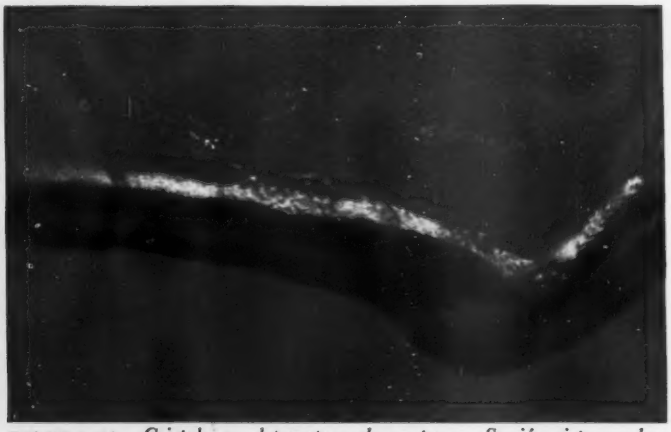


FIGURA 13 – *Cristales en el* tapetum *de un perro. Sección vista con luz polarizada.*

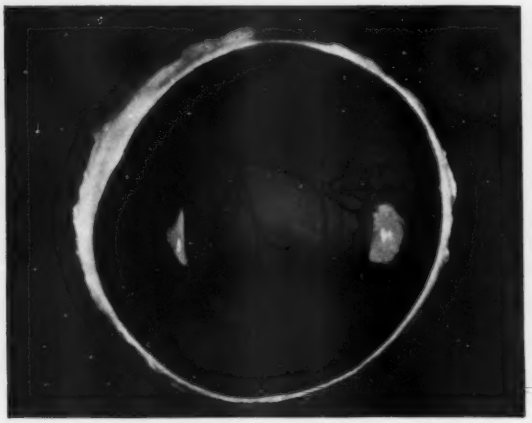


FIGURA 14 – *Ojo abierto de buey, mostrando la retina y el* tapetum.

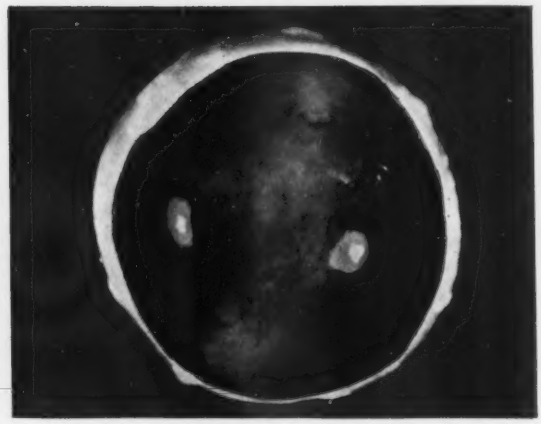


FIGURA 15 – *Ojo abierto de buey sin la retina.*

FIGURA 16 – *Cristales de guanina en el* tapetum *retineano del caimán* (Alligator Mississippiensis).

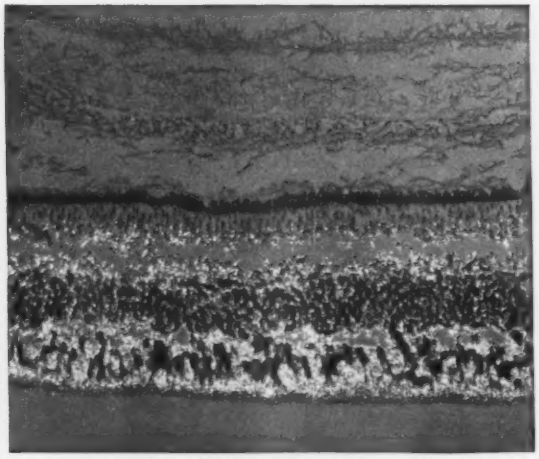


FIGURA 17 – *Cristales de guanina en el* tapetum *retineano del sargo* (Abramis brama).

FIGURA 18 – *Sección del iris de la carpa, mostrando cristales de guanina en la superficie anterior, vistos con luz polarizada.*

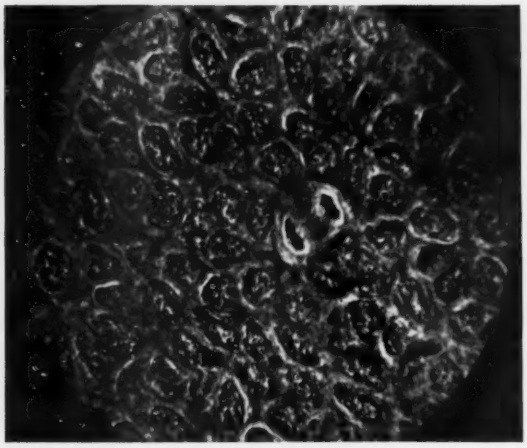


FIGURA 19 – *Epitelio normal del cristalino, mostrando mitosis normal.*

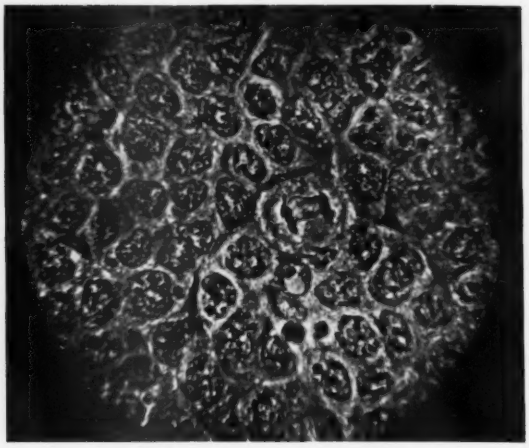


FIGURA 20 – *Epitelio de un cristalino irradiado 14 días antes. Nótese una mitosis anormal y varias células fragmentadas.*

relación que existe entre un metabolismo normal y un funcionamiento normal en el cristalino.

Consideremos primero a los niños. Algunos poseen un trastorno congénito que les impide metabolizar el componente de galactosa de la lactosa de la leche. Se desarrollan mal y les aparecen cataratas. La galactosa que no pueden metabolizar se acumula en la sangre y se elimina por la orina. Este trastorno se denomina galactosemia. Es posible localizar la ruptura en la cadena metabólica de la galactosa y demostrar su importancia en la bioquímica del ojo.

Los primeros pasos en el metabolismo de la galactosa parecen ser los siguientes:

$$\text{ATF} + \text{galactosa} \rightarrow \text{galactosa-1-fosfato} + \text{ADF}$$

$$\text{galactosa-1-fosfato} + \text{UDFG} \rightleftharpoons \text{glucosa-1-fosfato} + \text{UDF gal}$$

$$\text{UDF gal} \rightleftharpoons \text{UDFG}^{1}$$

Hay una acumulación de galactosa-1-fosfato en los glóbulos rojos de los recién nacidos galactosémicos [7], y sus glóbulos rojos hemolizados no pueden formar UDF gal a partir de UDFG y galactosa-1-fosfato [8]. La galactosemia, por tanto, parece ser una deficiencia congénita de la enzima que cataliza esta reacción. Esta enzima se encuentra normalmente presente en los tejidos, incluído probablemente el cristalino, ya que el cristalino *in vitro* de una vaca puede metabolizar la galactosa a ácido láctico [9].

La investigación del metabolismo de la galactosa en el cristalino de una rata alimentada con galactosa ha demostrado que el cristalino normal contiene sólo vestigios de galactosa y de galactosa-1-fosfato. Esto también ocurre en el cristalino de una rata alimentada con galactosa antes de que aparezcan opacidades, pero cuando se desarrolla una catarata en el cristalino hay una acumulación de galactosa-1-fosfato en la cápsula del cristalino y en el epitelio [10].

Hay otras muchas maneras de producir opacidades del cristalino en animales experimentales, y los estudios metabólicos de esos cristalinos semi o totalmente opacos muestran que la pérdida de adenosintrifosfato, la pérdida de glutationa, y finalmente la pérdida de la proteína soluble es un fenómeno corriente. Pero es muy difícil saber qué es lo que desencadena estos cambios degenerativos. Para averiguarlo hemos estudiado con rayos X el desarrollo de la catarata en conejos, exponiendo un ojo a los rayos X y usando el cristalino del otro como control normal [11–13]. No se observa ningún cambio clínico visible en el cristalino hasta mucho tiempo después de la radiación. Después de nuestra dosis standard de 1400 r, el cristalino de un conejo de seis meses puede aparecer clínicamente normal durante varios meses, aunque con certeza casi absoluta se pondrá opaco a los ocho meses o al año de la irradiación. En un conejo más joven este proceso es mucho más rápido; en uno más viejo tal opacidad puede no aparecer nunca.

Mientras se llevan a cabo estos cambios clínicos es fácil demostrar cambios en los constituyentes y en la actividad de las enzimas en el cristalino

[1] ATF = adenosin-trifosfato
ADF = adenosin-difosfato
UDFG = uridin-difosfoglucosa
UDF gal = uridin-difosfogalactosa

comparando el cristalino irradiado con el cristalino normal del otro ojo. De esta manera podemos demostrar que hay una disminución progresiva de glutationa, de glutationa reductasa, y de las enzimas que sintetizan la glutationa a partir de sus aminoácidos constituyentes. El primer cambio hallado es la disminución de glutationa, la cual hemos usado como patrón para medir otros cambios. Hay un descenso en la actividad de la gliceraldehido-fosfato-deshidrogenasa, de aldehido-oxidasa y de glioxalasa, las proteínas se sintetizan a menor velocidad y, finalmente, hay una desintegración de las proteínas del cristalino. Como en otras formas de cataratas, hay una pérdida de fosfatos de alta energía, tales como el adenosintrifosfato. Por otra parte, quedan prácticamente sin afectar otras enzimas. La hexocinasa, que cataliza la fosforilación de la glucosa; la aldolasa, que rompe el difosfato de hexosa en fosfatos de triosa; y la deshidrogenasa del ácido láctico, las cuales toman parte activa en la glicolisis, y también algunas enzimas oxidativas tales como la deshidrogenasa isocítrica, la enzima málica y el citocromo reductasa están todavía activas en el cristalino opaco o pierden su actividad mucho más tarde.

Pero estos cambios en los constituyentes y en las enzimas no se pueden detectar inmediatamente después de la irradiación. Puede pasar días, semanas e incluso meses, de acuerdo con la edad del conejo y la dosis de radiación, antes de que se pueda apreciar la disminución de glutationa o la pérdida de los fosfatos de alta energía. Esta tardanza en la aparición de los trastornos sugiere que estos cambios son secundarios y que la radiación actúa de una forma que todavía está por descubrir. Con el fin de analizar este fenómeno hemos empezado un examen histológico del cristalino.

Se sabe que la radiación daña más rápidamente las células capaces de multiplicarse que las otras. En el cristalino, las células que se dividen están concentradas en un anillo inmediatamente anterior al ecuador, y se puede demostrar que si un haz de rayos X pasa a través del centro del cristalino, sin pasar por tanto a través de las células en división no aparecerá ninguna opacidad; pero si se pone una pantalla en el centro y se irradia toda la periferia del cristalino se desarrollará una catarata total [14]. Por tanto la radiación daña sólo las células periféricas: probablemente, por analogía con otros tejidos, las células epiteliales capaces de multiplicarse. Estas constituyen una proporción extremadamente pequeña de la masa total del cristalino y, con todo, son de suma importancia para la función de éste (Figs. 19 y 20).

Ha surgido también otra cuestión que puede ser de interés general. Hemos encontrado que si una pequeña parte de la periferia del cristalino se cubre con una pantalla, la opacidad del cristalino producida es mínima, mientras que si se irradia toda la periferia se desarrolla opacidad total. Una pequeña zona del epitelio sano en división desempeña, por tanto, un papel muy importante en el mantenimiento de la estructura del cristalino. Ahora estamos tratando de ver qué proceso de reparación tiene lugar, a base de irradiar sólo medio cristalino, examinando microscópicamente a sucesivos intervalos de tiempo preparaciones del epitelio para ver si hay un movimiento de células del lado no lesionado al lesionado.

Todo esto está muy lejos de ser bioquímica detallada. La radiación daña las células epiteliales en división impidiendo el crecimiento del cristalino. Hay una pérdida real de células epiteliales, y las restantes, muchas de ellas dañadas, no pueden mantener las fibras del interior. En cierto momento éstas empiezan a desintegrarse, y en tal momento se pueden detectar cambios enzimáticos y de otro género en la totalidad del cristalino. Pero todavía queda por averiguar cuáles sean los verdaderos trastornos bioquímicos.

EL CUERPO VITREO

Consideremos ahora en el interior del ojo el cuerpo vítreo, que es la última etapa que atraviesan los rayos de luz para llegar a la retina. Esta substancia gelatinosa llena el espacio entre la retina y el cristalino. En 1896 Mörner demostró que el cuerpo vítreo de la vaca contenía colágeno (la proteína fibrosa principal de la piel), pero este hallazgo se relegó al olvido y por muchos años se creyó que carecía de estructura. Ahora se ha retornado a la concepción primitiva y encontramos que hay un número extraordinariamente grande de diferentes estructuras fibrosas y membranosas, algunas de las cuales se parecen al colágeno y otras no (*Vid.* Figs. 5–7) [15–17].

El cuerpo vítreo se puede separar fácilmente en dos partes por filtración o por centrifugación: el humor vítreo soluble y el residuo fibroso insoluble. El residuo fibroso del cuerpo vítreo es complejo: su parte principal está compuesta de una malla de fibrillas muy finas de colágeno (Fig. 7) envueltas por una membrana hialina (Fig. 5). La estructura completa está sujeta a la retina por unas fibras más gruesas que salen del área de la retina que está justo detrás del cristalino (Fig. 6). El humor vítreo es viscoso debido al ácido hialurónico que llena toda la masa.

¿Cómo se puede relacionar esta estructura con el comportamiento del cuerpo vítreo en el ser vivo? Dos trastornos en el ojo que afectan a la visión y que tienen que ver directa o indirectamente con la estructura vítrea son la liquefacción parcial del cuerpo vítreo, con formación de opacidades, y el desprendimiento de la retina.

Cuando se mira a una pared blanca o al cielo claro se ven frecuentemente pequeños puntos grises o negros o hebrillas que, si el ojo está quieto, cruzan despacio el campo de visión. Estas «motas», como se las suele llamar, las tienen casi todas las personas y son pequeños mechones de fibras en el cuerpo vítreo. Se mueven porque el cuerpo vítreo no es rígido. Se mueven muy despacio y sólo cortas distancias porque es una gelatina viscosa.

Estos pequeños conglomerados de fibras son normales, pero si la malla fibrosa del cuerpo vítreo se desorganiza, sea por autoliquefacción parcial o por despolimerización del ácido hialurónico, se desarrollan opacidades de importancia.

Un peligro más grave todavía para la visión es el desprendimiento de la retina. En este caso, una parte de la retina se rasga o se desprende y por tanto se hace inservible como mecanismo receptor de la luz. Se considera generalmente que, por lo menos, algunos tipos de rasgaduras y desprendimientos retinales son debidos a la tracción que las fibras vítreas ejercen sobre la retina. La retina está muy bien unida al cuerpo vítreo por la base, cerca del cuerpo ciliar, y es ahí donde tiene lugar más frecuentemente la degeneración y el desprendimiento retineano.

Se podría decir, tanto en el caso de opacidades vítreas y como en el de desprendimiento de la retina, que la digestión de las fibras del cuerpo vítreo por la inyección de una enzima podría ser beneficiosa. Desgraciadamente la colagenasa que disolviera sin duda el cuerpo vítreo *in vitro* e *in vivo*, disolvería también el colágeno de los vasos sanguíneos de la retina; una inyección de colagenasa en el cuerpo vítreo puede producir hemorragias retinales. También, aunque la colagenasa liquidifica la parte principal del cuerpo vítreo, no digiere las fibras, las cuales lo unen firmemente a la retina por su borde anterior. Estas fibras (Fig. 6) no son de colágeno. No se sabe a qué clase de proteínas fibrosas pertenecen o si son únicas en su género. Podría suceder que si pudiésemos digerir estas fibras—son susceptibles a la tripsina—podríamos modificar un desprendimiento retineano, pero hasta que no sepamos mucho más sobre su naturaleza química no podemos intentar modificarlas *in vivo*. Pero, en general, el cuerpo vítreo se comporta admirablemente. El 99% es agua y ópticamente es casi limpio; pero, con todo, es lo suficientemente consistente como para mantener la forma del globo ocular y mantener a la retina en su sitio; su química está adaptada a su función.

Por supuesto, al escribir sobre el ojo en general, he simplificado excesivamente, porque en realidad no existe un ojo único [18]. Los ojos de los diferentes miembros de una misma especie difieren en los detalles, existiendo diferencias notables entre los ojos de los gatos, por ejemplo, y los de los toros y los peces. Todos difieren tanto en la construcción como en el funcionamiento. El funcionamiento es una cosa muy difícil de juzgar, porque el ojo y el cerebro forman una unidad funcional; una consideración de su estructura nos lleva a un estudio bioquímico muy especial.

ADAPTACIONES EN LA COROIDES Y EN LA RETINA PARA FORMAR UNA SUPERFICIE REFLECTORA

Por la noche la luz de una linterna o de un foco se refleja en los ojos de gatos y perros. Muchos mamíferos y peces reflejan la luz de una manera similar. Los ojos de los pájaros en general no la reflejan, ni los humanos tampoco. En nuestros ojos la retina está rodeada por la coroides, que es de un negro uniforme y absorbe toda la luz que le llega. La luz reflejada de la retina humana es rojiza y viene de la retina misma y de sus vasos sanguíneos (Fig. 9). Pero muchos animales (Figs. 11, 14 y 15) tienen una zona especial de la coroides o de la retina, que se llama *tapetum lucidum*, que actúa como un espejo, de forma que la luz que le llega es reflejada de nuevo a través de las células retinales que la cubren [18]. Por supuesto, esto no puede aumentar la agudeza visual, pero sí puede ser muy útil para aumentar la sensibilidad visual, cuando hay poca luz, ya que cualquier luz que no haya sido absorbida durante su primer paso por la retina puede estimular las células fotosensibles cuando las vuelve a atravesar después de reflejada en el *tapetum*.

El *tapetum lucidum* en el perro y el gato es una superficie triangular en la mitad superior del ojo, el cual, cuando se mira en el animal vivo (Fig. 10), o extirpado (Fig. 11) aparece como un área azul verdosa refulgente. En cortes microscópicos se puede ver que las células pigmentarias epiteliales de la retina no contienen ningún pigmento en el área tapetal y están rodeadas por varias capas de células planas grandes en la coroides (Fig. 8). Estas células están llenas de cristales (Fig. 13). Recientemente se ha descubierto que el material

cristalino que se encuentra en el *tapetum* de los carnívoros, como el perro, el gato, el tejón, la foca y el zorro, es un complejo de zinc con el aminoácido cisteína, que contiene azufre [19]. Las células del *tapetum* del zorro plateado contienen 16% de su peso seco en zinc y del 8 al 9% en azufre.

La necesidad de esta zona tapetal para la función visual se pone de manifiesto en el hecho de que si a un perro se le inyecta un agente metálico de quelación, tal como la ditizona, el brillo del ojo desaparece, el animal queda ciego según degenera el *tapetum* y la retina se desprende. La ditizona se utiliza frecuentemente para producir diabetes, ya que provoca una degeneración de los islotes del páncreas (debido de nuevo a que los deja sin zinc), pero la dosis necesaria para producir cambios visuales en los perros es más pequeña que la dosis para producir diabetes. Ningún proceso de reparación parece tener lugar en el ojo después de suprimir el zinc [20].

Muchos peces, anfibios y reptiles tienen también material cristalino, no sólo en su coroides sino también en su iris (Figs. 16–18), donde actúa asimismo como reflector. Estos cristales están compuestos de la purina guanina, que es también la substancia que da la apariencia resplandeciente a las escamas de los peces. En el cazón, *Squalus acanthias*, los cristales de guanina son muy grandes y están dispuestos regularmente, formando un ángulo de 45° con las células visuales (Fig. 12). En luz tenue están descubiertos, pero en luz brillante se cubren con pigmentos que se trasladan de acuerdo con la luz incidente, aumentando así la gama de intensidades de luz a las que el ojo puede responder.

Los herbívoros, tales como las vacas y las ovejas, tienen coroides un tanto diferentes, pero también forman un espejo. En estos animales el *tapetum* coroidal está compuesto de fibrillas paralelas que actúan como una rejilla de difracción y reflejan la luz coloreada de la misma manera que las alas de algunas mariposas. La coroides posee una alta concentración de bario, un metal que no se encuentra prácticamente en ninguna otra parte del cuerpo [21].

El mecanismo básico de la visión radica en la fotosensibilidad de los pigmentos en los conos y bastoncillos de la retina. A esto hay que añadir la interacción entre el ojo y el cerebro, de tal forma que éste pueda interpretar la imagen recibida en la retina. Opticamente, el ojo del pájaro es en muchos sentidos superior al ojo humano, pero casi es indudable que la gama de experiencia visual del pájaro es menor que la del hombre, debido a la relativa simplicidad de su cerebro.

Me complace agradecer la colaboración de tres fotógrafos: Mrs. M. Overall, del *Nuffield Laboratory of Ophthalmology* por la preparación de los diagramas del ojo; Mr. Allen, del *Oxford Eye Hospital*, por la fotografía del fondo de ojo, (hombre y gato); y, finalmente, Mr. Blackwell del Departamento de Anatomía Humana que ha preparado cuidadosamente todas las demás fotografías en color, así como también algunas en blanco y negro. El Doctor N. Ashton nos ha suministrado la fotografía de la sección de una retina de gato.

REFERENCIAS

[1] SMELSER, G. K. *Arch. Ophthal., Chicago*, **47**, 328, 1952.
[2] SMELSER, G. K. y OZANICS, V. *Ibid.*, **49**, 335, 1953.
[3] SMELSER, G. K. y CHEN, D. K. *Ibid.*, **53**, 676, 1955.
[4] DAVSON, H. *Biochem. J.*, **59**, 24, 1955.
[5] HARRIS, J. E., HAUSCHILDT, J. D. y NORDQUIST, L. T. *Amer. J. Ophthal.*, **38**, 141, 148, 1954; **39**, 161, 1955.
[6] PIRIE, A. y VAN HEYNINGEN, R. *The Biochemistry of the Eye.* Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1956.
[7] SCHWARZ, V., GOLBERG, L., KOMROWER, G. M. y HOLZEL, A. *Biochem. J.*, **59**, XXII, 1955.
[8] KALCKAR, H. M., ANDERSON, E. P. y ISSELBACHER, K. J. *Biochim. Biophys. Acta*, **20**, 262, 1956.
[9] VAN HEYNINGEN, R., en PIRIE, A. y VAN HEYNINGEN, R. (*Vid.* [6].)
[10] SCHWARTZ, V. y GOLBERG, L. *Biochim. Biophys. Acta*, **18**, 310, 1955.
[11] PIRIE, A., VAN HEYNINGEN, R. y BOAG, J. W. *Biochem, J.*, **54**, 682, 1953.
[12] VAN HEYNINGEN, R., PIRIE, A., y BOAG, J. W. *Ibid.*, **56**, 372, 1954.
[13] PIRIE, A., VAN HEYNINGEN, R. y FLANDERS, P. H. *Ibid.*, **61**, 341, 1955.
[14] PIRIE, A. y FLANDERS, P. H. *Arch. Ophthal., Chicago*, **57**, 849, 1957.
[15] PIRIE, A., SCHMIDT, G. y WATERS, J. W. *Brit. J. Ophthal.*, **32**, 321, 1948.
[16] BEMBRIDGE, B. A., CRAWFORD, G. N. C., y PIRIE, A. *Ibid.*, **36**, 131, 1952.
[17] MATOLTSY, A. G. *J. gen. Physiol.*, **36**, 29, 1952.
[18] WALLS, G. L. *The Vertebrate Eye.* Cranbrook Institute of Science Bulletin No. 19, 1942.
[19] WEITZEL, G., BUDDECKE, E., FRETZDORFF, A. M., STRECKER, F. J. y ROESTER, U. *Hoppe-Seyl. Z.*, **299**, 193, 1955.
[20] WEITZEL, G., STRECKER, F. J., ROESTER, U., BUDDECKE, E. y FRETZDORFF, A. M. *Ibid.*, **296**, 19, 1954.
[21] SOWDEN, E. y PIRIE, A. (Inédito.)
[22] JAKUS, M. A. *Amer. J. Ophthal.*, **38**, 40, 1954.

Recientes progresos en biología molecular

M. F. PERUTZ

La biología molecular aspira a explicar las funciones biológicas teniendo en cuenta la estructura molecular. Recientemente ha habido grandes progresos en tal sentido y, hoy existe la opinión de que dentro de 20 años será posible comprender «molecularmente» las más sencillas formas orgánicas. Constituyen problemas clave la estructura de los ácidos nucleicos (de ellos depende la replicación genética y la síntesis de proteínas), y la estructura de los catalizadores proteínicos que controlan el metabolismo. En este artículo se expone la estructura y función de los ácidos nucleicos. Se describe el primer modelo tridimensional de molécula de proteína, logrado mediante análisis roentgenográfico.

GENES Y ENZIMAS

La desconcertante diversidad de formas vivientes oculta cierta unidad subyacente en las moléculas utilizadas por la naturaleza en los fenómenos de reproducción, multiplicación, crecimiento, locomoción, metabolismo, secreción y reacción nerviosa. El mismo tipo de molécula enzimática cataliza iguales reacciones en protistos y mamíferos; los mismos co-factores operan en la glicolisis y en la fotosíntesis; y los numerosos compuestos orgánicos — tan complejos — de todos los organismos, resultan por biosíntesis a partir de las mismas moléculas, pocas y sencillas. Casi todos los procesos del metabolismo son catalizados por enzimas, y todas las enzimas son moléculas proteínicas. Hace ahora 25 años que Sir Frederick Gowland Hopkins, enseñando credo semejante, logró establecer las nociones científicas sobre las que se han basado nuestras investigaciones de la estructura química y la arquitectura espacial de las proteínas.

En estos últimos años los bioquímicos han comenzado a profundizar más; se atreven a indagar la causa que determina la síntesis misma de las enzimas. No pueden ser otras enzimas, ya que éstas habrían de ser producidas por otras más, y así sucesivamente *ad infinitum*. Hoy sabemos que la síntesis de enzimas está controlada por los genes, y podemos admitir con fundamento que un gene controla la síntesis de una enzima. Por tanto, un gene debe poseer doble función: la de reproducirse a sí mismo, y la de determinar la estructura específica de una molécula de proteína. Esto plantea la cuestión de la naturaleza química de los genes.

La hipótesis más sencilla — al menos a primera vista — consistiría en suponer que las enzimas son moléculas auto-reproducibles, además de catalizadores funcionales. Sin embargo, los recientes estudios sobre los virus y factores bacterianos transformantes prueban convincentemente que la porción esencial de un gene no es la proteína, sino el ácido nucleico. Este puede ser de dos tipos: ácido desoxirribonucleico (ADN) en seres celulares y macrovirus, y ácido ribonucleico (ARN) en microvirus. Por tanto, auto-reproducción y actividad metabólica parecen depender ante todo de la estructura e interacción de dos tipos de moléculas enormes: ácidos nucleicos y proteínas. No está aún clara la participación de lipoides y polisacáridos; hoy se cree sea secundaria.

Así pues, las preguntas principales que se nos plantean son las siguientes: ¿qué estructura posee el material genético?; ¿cómo se auto-reproduce? ¿cómo controla la síntesis de enzimas?; ¿qué estructura poseen las enzimas y de qué modo determina aquélla la función catalítica de éstas?

ESTRUCTURA Y AUTO-REPRODUCCION DEL MATERIAL GENETICO

Estabamos acostumbrados a concebir las enzimas como moléculas, pero es relativamente nueva la idea del gene-molécula con estructura estereoquímica concreta. Concebimos los genes abstractamente como factores unitarios de la herencia, ordenados en fila a lo largo de los cromosomas. Quizá el término «gene» sugiere más bien esa figura bandeada que se observa en los cromosomas gigantes de la drosófila. Químicamente los genes se componen de ADN y proteína; hay ARN en ciertas fases del ciclo mitósico, pero como vehículo primario de información hereditaria en los organismos superiores este otro ácido está descartado, puesto que falta en el espermatozoo. La teoría de que sólo el ADN actúa como vehículo transmisor adquirió valor con el descubrimiento por Avery del factor bacteriano transformante, y ha sido aceptada ampliamente desde

que Hershey y Chase demostraron que es el ADN el componente infectivo principal y el vehículo de transmisión hereditaria en los virus bacterianos.

Sin duda, cabría sostener que el aparato hereditario de los organismos superiores no sea forzosamente el mismo que en los inferiores. Carecemos todavía de prueba directa sobre el cometido que desempeña el ácido nucleico en los cromosomas de animales superiores. Sin embargo, la constancia de contenido y composición del ADN en todas las células de cada organismo, su inercia metabólica, y otras múltiples pruebas indirectas, autorizan a creer que el ADN actúa como único vehículo de transmisión hereditaria en todos los organismos, excepto en los microvirus, en los cuales va reemplazado por ARN. Se arguye a veces que aún puede descubrirse un compuesto de tipo absolutamente nuevo que venga a revolucionar nuestros conceptos en este orden de cosas, pero hasta la fecha falta toda base experimental en favor de dicho argumento.

Si los ácidos nucleicos son los vehículos de transmisión hereditaria, han de poseer naturaleza de una clave o plantilla química por lo que a su constitución se refiere. Se trata de polímeros de cadena larga, provistos de un espinazo donde se repite a intervalos regulares idéntica estructura química, que forma los eslabones de la cadena (Fig. 1). A cada eslabón va unida una base

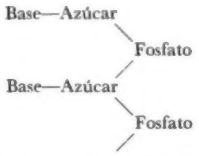


FIGURA 1 – *Estructura química del ADN. Cada componente de fosfato, azúcar y base se llama un nucleótido.*

purínica o pirimidínica. Estas bases son de cuatro clases diferentes en cada ácido. Ignoramos en qué forma se suceden estas cuatro bases dentro de un ácido nucleico, y carecemos de fundamento directo para afirmar haya alguna sucesión determinada; sólo sabemos que sus proporciones son características y constantes en el ADN de cada particular especie de ser vivo. Y es este hecho, el de ser las bases el único componente que varía, lo que nos hace creer que estén dispuestas en cada caso según una determinada secuencia, y que esta secuencia constituye la clave genética. De ser esto cierto, entonces el «lenguaje» genético estaría escrito con un alfabeto de cuatro letras sobre un pergamino de longitud inmensa. La longitud real de dicho «pergamino» es de 0,003 mm en un microvirus vegetal, de 0,1 en el bacteriófago T2, y de 1000 mm en un mamífero: esto es, muchas veces la longitud de la célula que lo contiene. La manera de hallarse «empaquetado» se estudiará más adelante. Las «letras» del nucleótido que corresponden a esa longitud son 8000, 5 000 000 y 3 000 000 000 respectivamente; el último equivale a una gran biblioteca de informaciones.

Cada vez que una célula madre procede a dividirse ha de fabricar una copia exacta de la información genética, a fin de asegurar la continuidad hereditaria en las células hijas. Ignoramos todavía cómo ocurre esto, pero Watson y Crick han propuesto un modelo estructural de ADN, que sugiere algunas características del posible proceso [1]. El modelo tiene especial interés porque muestra muy a las claras de qué manera un concepto nuevo de la estructura molecular puede dar origen a nuevas ideas sobre la función biológica y, quizá, finalmente, a la interpretación de fenómenos patológicos.

El modelo Watson-Crick del ADN consta de dos cadenas que se desarrollan en direcciones opuestas y se enrollan una con otra formando una doble espiral (Fig. 2). Es comparable a una escalera de caracol en la que los escalones son bases orgánicas y la barandilla el éster fosfórico.

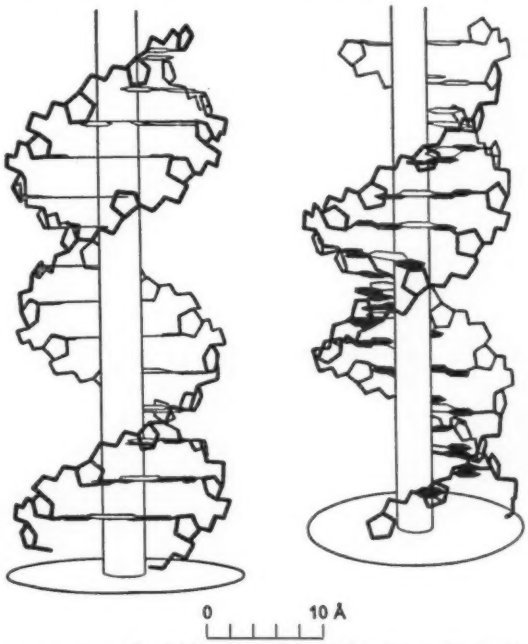


FIGURA 2 – *La doble espiral del ADN. Los anillos y los eslabones representan la cadena de éster fosfórico. Las placas intercalares corresponden a bases. (Autorización de F. H. C. Crick y J. D. Watson* [18].)

Cada escalón comprende dos bases (una de cada cadena) unidas entre sí por enlaces de hidrógeno. Si suponemos ahora que las cuatro bases del «alfabeto» genético son designadas con A, T, G y C, el modelo predice que sólo pares específicos se combinan para formar un escalón; por ej., que A está siempre unida con T, y G con C; esto implica que la sucesión de bases en ambas cadenas de la doble espiral debe ser complementaria, de modo que la sucesión en una cadena determine la de la otra (Fig. 3).

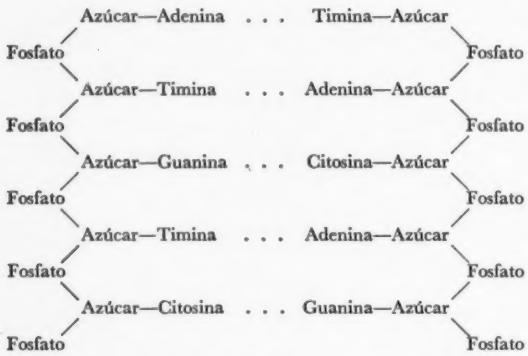


FIGURA 3 – *Apareamiento de bases entre las dos cadenas de la doble espiral del ADN.*

Cuando reproducimos un documento hacemos primero el negativo, y, a partir de éste, el positivo. La sucesión complementaria de bases en ambas cadenas, significa que el ADN es la combinación de un positivo con un negativo. Para reproducirse a sí mismo, han de separarse primero los dos componentes, produciendo cada uno de ellos una réplica de sí. Así resultarían dos hijas, ambas portadoras de idéntica información que la progenitora (Fig. 4).

Por haber polarizado las ideas corrientes en torno a una estructura concreta y en torno a un proceso de duplicación, el modelo Watson-Crick ha servido de estímulo para variados e interesantes experimentos. El modelo se inspiró en parte en los trabajos sobre difracción de rayos X de M. H. F. Wilkins y R. Franklin [2]. Estos autores y sus colaboradores han demostrado que los diseños de difracción de rayos X de fibras de ADN — cualesquiera que sea su procedencia — se hallan plenamente de acuerdo con la doble espiral de Watson y Crick, aunque tienen que modificarse algunos rasgos del modelo inicial. Wilkins ha demostrado también que la doble espiral se halla presente, además de en fibras de ADN purificadas, en cabezas de zoospermos vivos, probablemente con una tercera cadena de protamina enrollada a ella. Por consiguiente, tenemos cierta seguridad de que la estructura postulada es exacta y existe en los cromosomas vivientes.

Carácter esencial de la clave de ADN es su disposición lineal. Esta hipótesis ha sido comprobada por S. Benzer en la Universidad de Purdue, mediante un experimento muy ingenioso sobre recombinación genética en bacteriófagos. Sus estudios demostraron que pueden ocurrir mutaciones hasta en cien lugares diferentes dentro del mismo gene fisiológico, el cual, por tanto, no

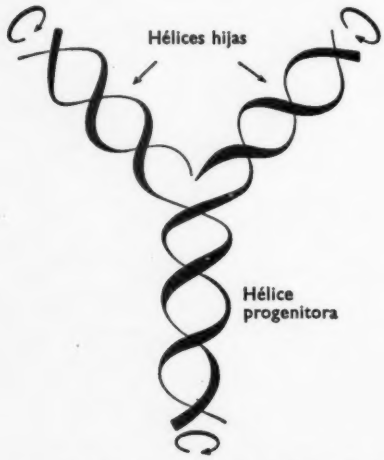


FIGURA 4 – *Esquema del ADN según Watson y Crick. La hélice progenitora se devana al tiempo que ocurre la reproducción y enrollamiento de las hélices hijas. Los tres brazos de la Y giran según se indica. (Según M. Delbrück y G. S. Stent, con autorización de Johns Hopkins Press.)*

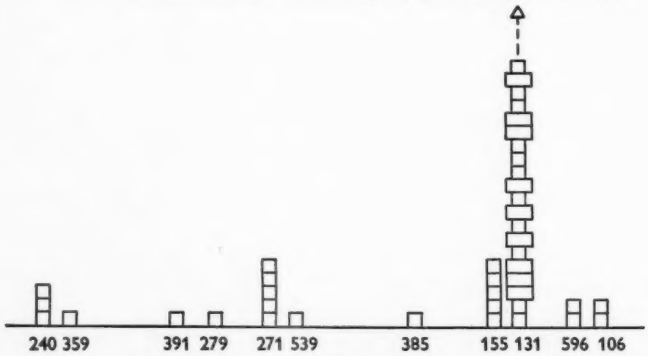


FIGURA 5 – *Mapa genético de mutantes a lo largo de un breve tramo de uno de los genes del bacteriófago T4. Cada cuadrícula es un mutante. Las distancias entre mutantes se han basado en recombinaciones de frecuencias entre ellos, y carecen de significado físico, aunque según cálculos aproximados la distancia entre mutantes menos espaciados correspondería a unos pocos eslabones de la cadena de ADN. (Según S. Benzer, con autorización de Johns Hopkins Press.)*

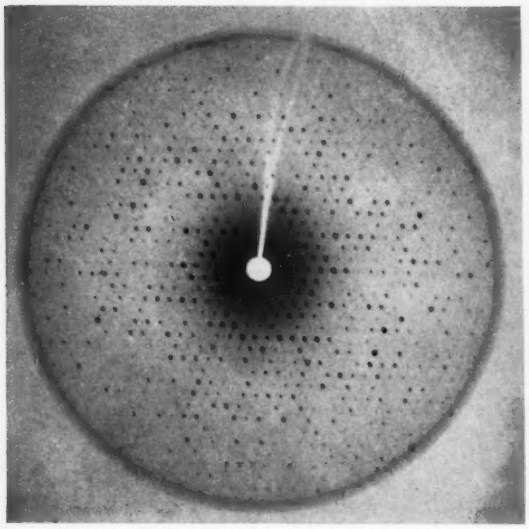


FIGURA 6 – *Fotografía de difracción de rayos X de un cristal de hemoglobina. Cada punto es una imagen de difracción del cristal. Las intensidades variables de las manchas suministran datos de los que se deduce la estructura.*

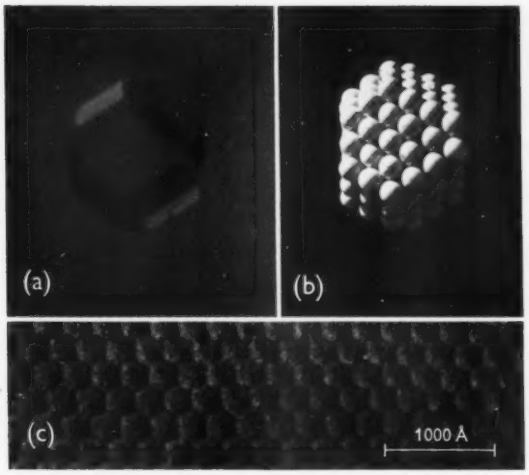


FIGURA 8 – (a) *Microfotografía de un cristal del virus de la poliomelitis (Estirpe Mahoney).* (b) *Mórula que muestra la probable arquitectura de la partícula virúsica.* (c) *Microfotografía electrónica de partículas virúsicas empaquetadas regularmente sobre una de las caras del cristal. (Con autorización de R. L. Steere y F. L. Schaffer* [19].)

puede tomarse ya como unidad indivisible (Fig. 5). Benzer logró demostrar que todos esos lugares de mutación yacen en serie lineal única, y que la distancia entre los dos *loci* más próximos no puede ser superior a unos pocos eslabones de la cadena de nucleótido [3]. Así, se ha podido demostrar experimentalmente en una escala molecular la disposición lineal de la clave genética.

Veamos ahora el mecanismo de la réplica. El modelo Watson-Crick sugiere que en cada ciclo de replicación, cada uno de los dos elementos de la doble espiral progenitora iría a cada una de las dobles espirales hijas (Fig. 7). Esto puede comprobarse marcando con isótopos el ADN padre, para determinar más tarde la distribución de las marcas en los ADN hijos. Ingeniosos experimentos hoy realizados en tal sentido son: uno con bacteriófagos, otro con *E. coli*, y un tercero en cromosomas de plantitas de haba. Los resultados de cada experimento se hallan de acuerdo con el procedimiento de réplica indicado por la Fig. 7, aunque en dos ellos se duda si la marca transferida formaba efectivamente parte del ADN portador de la clave genética.

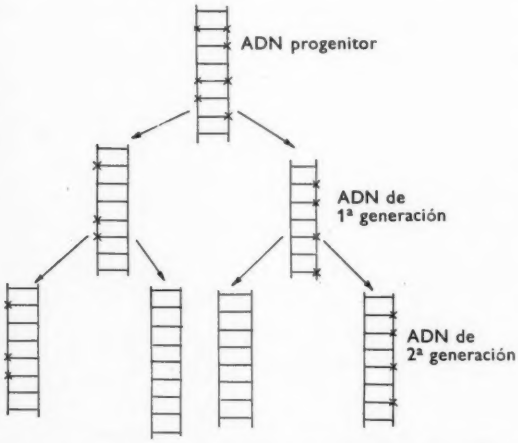


FIGURA 7 – *Distribución de la marca isotópica en la hélice progenitora de ADN entre las dobles hélices hijas de ADN. Las cruces señalan isótopos marcadores.*

En el orden químico, se ha logrado aislar en *E. coli* un sistema enzimático libre de células, el cual sintetiza ADN a condición de que las cuatro bases figuren en los nucleótidos precursores. Una segunda condición es la presencia de cebador, que debe ser el ADN. Tales condiciones se hallan de acuerdo con lo esperado, suponiendo que la síntesis de una cadena de ADN exiga la presencia de otra complementaria sobre la que pueda crecer como una enredadera, de modo que el crecimiento cesaría si faltase alguna de las cuatro bases necesarias para el apareamiento.

Aunque es prematuro afirmar que el mecanismo de la réplica propuesto por Watson y Crick sea concluyente, continúan acumulándose nuevas pruebas en su favor. Por otra parte, aún quedan

FIGURA 9 – *Microfotografía electrónica de secciones finas de páncreas de rata. Dominan las estructuras del llamado retículo endoplásmico (e, c, y o), cuya matriz alberga numerosos pequeños gránulos densos (g y r). Estos últimos son los microsomas que sintetizan proteínas. (Autorización de G. E. Palade* [5].)

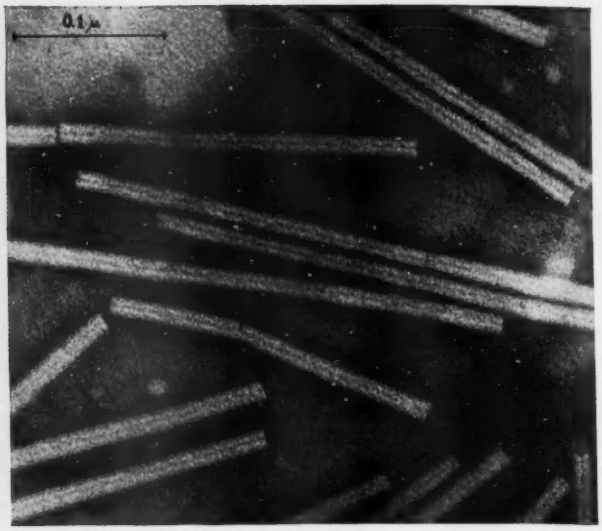


FIGURA 10 – *Bastones de virus del mosaico del tabaco teñidos con ácido fosfotúngstico que llena la cavidad central (banda oscura). (Según S. Brenner y R. Horne.)*

por aclarar dos importantes aspectos que toda teoría, para ser aceptable, debe explicar. Uno de ellos es el origen de las mutaciones, y el segundo es el mecanismo del «crossing-over». Según el modelo tratado, la mutación más sencilla consistiría en sustituir un par de bases de la cadena por otro, por ejemplo A–T por G–C; la acción de ciertos mutágenos químicos se halla sin duda acorde con esta idea. Se predice, sin embargo, una misma probabilidad de sustitución en cualquier parte de la cadena, y esto no concuerda con los resultados obtenidos por Benzer, según los cuales la frecuencia de mutación varía de unos *loci* a otros.

Que sepamos, hasta el día nadie ha logrado formular una hipótesis aceptable que explique el «crossing-over» mediante un mecanismo molecular. Ello no obstante, los fenómenos genéticos se comprenden cada día mejor gracias a la multitud de interesantes experimentos que actualmente se verifican sobre réplica en bacteriófagos, transformación y transducción[1] en bacterias, y sobre fenómenos genéticos de muchos y variados micro-organismos.

[1] «Transformación» es el cambio genético que se opera en una estirpe de bacterias, inducido por transferencia del ADN extraído de otra estirpe. «Transducción» es la transferencia de caracteres genéticos de una a otra estirpe de bacterias, al infectar con jugos lisigénicos.

He prescindido de exponer la estructura del ARN por ser aún desconocida, y porque éste actúa sólo en los microvirus como vehículo de información genética. Sin embargo, como se verá más abajo, es el ARN y no el ADN el que controla directamente la síntesis de proteína; por tanto, sería extraordinariamente interesante conocer su estructura. Hasta la fecha, por desgracia, las fibras de ARN han producido diseños de refracción de rayos X demasiado imprecisos para servir de base para un modelo estructural. Por ello, el problema se está estudiando por vía indirecta. S. Ochoa ha logrado aislar una enzima que sintetiza fibras similares al ARN de variada composición, a partir de simples precursores. A. Rich ha mostrado que muchos análogos sintéticos dan mejores roentgenogramas que el ARN natural, y proporcionan así valiosa información acerca de los tipos de estructuras que pudiera originar el ARN en variables condiciones, tales como espirales dobles y triples. No parece que estemos lejos de aclarar la estructura del ARN [4].

RASGOS ESTRUCTURALES DE LA SINTESIS DE PROTEINAS

Después de haber considerado la estructura y replicación del material genético, podemos tratar

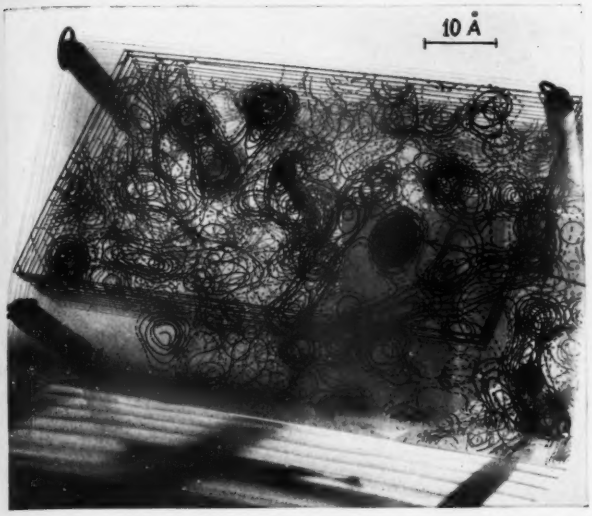


FIGURA 11 – *Mapa tridimensional que muestra la distribución de densidades a lo largo de una serie de secciones paralelas practicadas a través de dos moléculas vecinas de un cristal de mioglobina. La flecha apunta a la cúspide que representa el grupo hemo portador de hierro. (Según J. C. Kendrew.)*

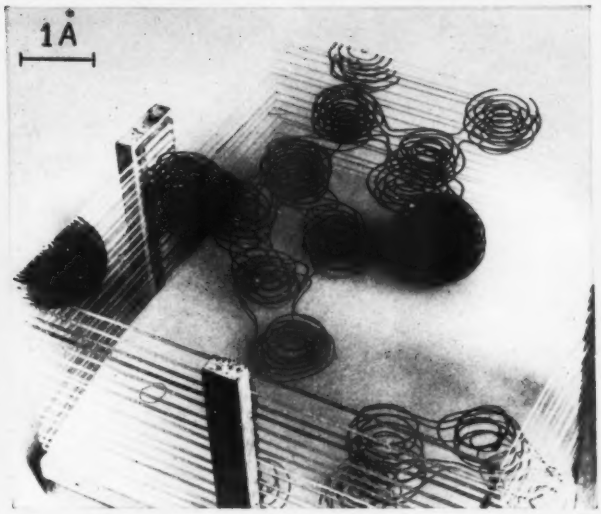


FIGURA 12 – *Secciones a través de moléculas de penicilina; los átomos destacan como cimas de alta densidad electrónica. Nótese la diferente escala de las figuras* 11 *y* 12 *(Según D. Crowfoot* et al., *con permiso de la Princeton University Press.)*

ahora de su función. Si el gene determina la estructura específica de la enzima, entonces le significado de la clave genética se expresaría en términos de estructura proteínica. El problema puede ser abordado en el orden puramente formal, con independencia del mecanismo químico efectivo que exige la síntesis de proteína.

Comparemos la estructura de una proteína con la de un ácido nucleico. Sólo tienen en común la específica sucesión lineal de múltiples unidades en cadena larga. Difieren, en cambio, por el número de clases de unidades que cada cual contiene. Cualquier ácido nucleico contiene principalmente cuatro clases de bases, mientras que las proteínas contienen sobre todo veinte clases de aminoácidos, y es la secuencia de éstos lo que determina su especificidad. Admitamos ahora, como hipótesis de trabajo, que la secuencia de las cuatro bases a lo largo de la cadena de ácido nucleico, es lo que determina la secuencia de los aminoácidos a lo largo de la cadena de proteína, y que ésta es, y no otra, la misión que cabe a la clave genética.

Estas presunciones sugieren que el verdadero aparato sintetizador de proteínas sea un patrón de ácido nucleico sobre el cual son agrupados los aminoácidos en el orden debido antes de combinarse entre sí para formar la cadena polipeptídica. De lo dicho hasta ahora debemos lógicamente colegir que esos patrones se hallan en los núcleos de las células, y que sería, por tanto, extraña cosa que la proporción de síntesis proteínica resultase baja en los núcleos. Y, sin embargo, es lo cierto, que la mayoría de proteína es fabricada en el citoplasma, donde se ha podido rastrear el sitio de polimerización en minúsculas partículas esféricas que se habían llamado «microsomas» (Fig. 9). Estas partículas poseen pesos moleculares del orden de unos millones, y se componen exclusivamente de ARN y proteína. Existen pruebas de que el ARN de esas partículas es lo que hace de molde para la fabricación de proteínas [5].

Vemos ahora por qué es tan interesante averiguar la estructura del ARN. Abrigamos la esperanza de que una vez conocida esa estructura, ayude a desentrañar el mecanismo de unión y combinación de los aminoácidos. En los últimos años se han dado ya grandes pasos hacia el esclarecimiento del mecanismo químico que activa los aminoácidos y los coloca en línea de combinación.

M. Hoagland y otros han descubierto la existencia de enzimas activadoras que combinan aminoácidos con adenosinamonofosfato (AMF). El mismo autor ha demostrado que estos anhídridos

FIGURA 13*a* – *Modelo de la molécula de mioglobina. La salchicha blanca representa la cadena de polipéptido y el disco gris es el grupo hemo. Las bolitas marcan posiciones de átomos pesados utilizados para la determinación de la estructura. Escala en Ångströms.*

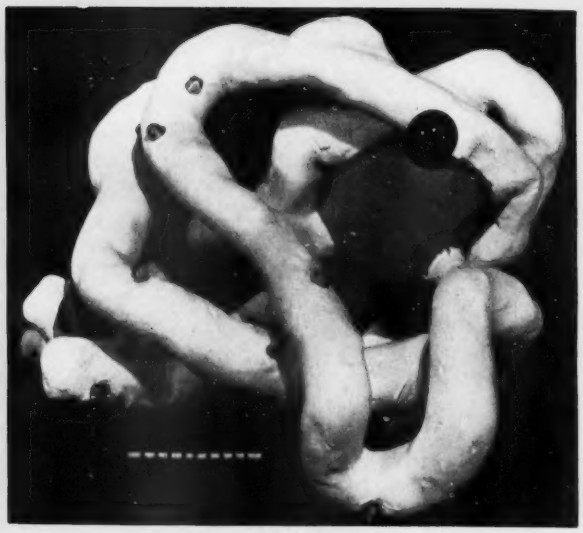


FIGURA 13*b* – *Vista superior de la molécula representada en la Fig.* 13*a.*

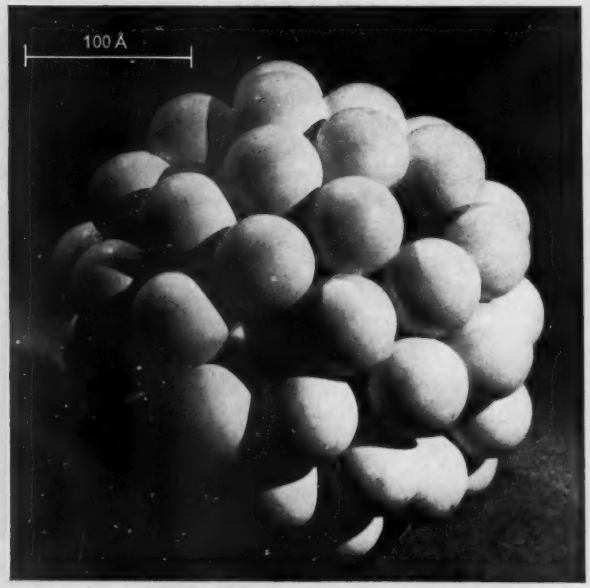


FIGURA 14 – *Modelo del empaquetamiento simétrico de* 60 *subunidades idénticas sobre una superficie esférica (F. H. C. Crick). Esta pudiera ser la estructura que tiene la corteza proteínica de ciertos virus vegetales, y quizá del de la poliomelitis. El ARN no se ve.*

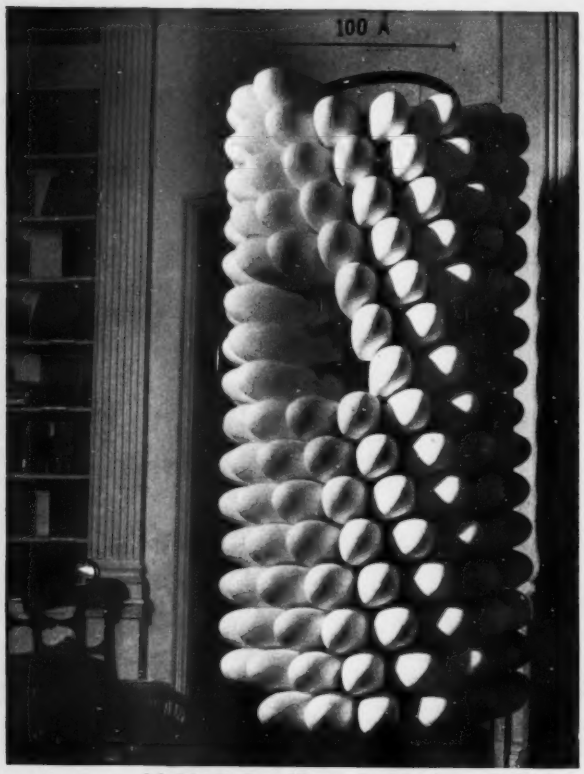


FIGURA 15 – *Modelo de virus del mosaico del tabaco. Cada pieza representa una subunidad de proteína con peso molecular de* 17 000. *Por la abertura se ven las espiras de ARN dentro de la partícula. La holgura de la espira es* 23 *Å. (Rosalind Franklin y A. Klug.)*

activados de aminoácido-AMF, están probablemente ligados a ARN soluble de peso molecular relativamente pequeño, el cual actúa de sistema portador antes del paso a los microsomas [6]. Por tanto, el protoplasma parece contener dos tipos de ARN, uno con función metabólica, y el otro destinado a molde donde se fraguan las proteínas. Quizá no tardaremos ya en presenciar que la conjunción de las ideas químicas con las estructurales conducirá al descubrimiento del mecanismo de sintetización. Ignoramos también aún cómo se transfiere la información genética desde el ADN del núcleo al ARN del protoplasma; ése es otro de los problemas importantes para resolver en el futuro.

ESTRUCTURA DE LAS PROTEINAS

Las proteínas y los ácidos nucleicos son moléculas gigantes. Aquéllas están compuestas por cadenas de polipéptido en las que el mismo grupo químico

—CO—RCH—NH—CO—RCH—NH—

se repite a intervalos regulares. La especificidad se debe a las cadenas laterales (R) de 20 distintos aminoácidos (Fig. 16).

Una molécula de enzima puede estar integrada por una o más de esas cadenas polipeptídicas que, en conjunto, suponen desde 100 a varios millares de radicales aminoácidos, ordenados todos en determinada sucesión. Del número de cadenas, y de la sucesión de radicales dentro de cada una depende la estructura primaria de una proteína.

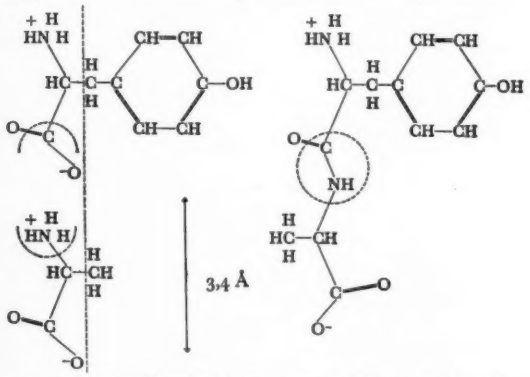


FIGURA 16 – (*izquierda*) *Dos aminoácidos: arriba, tirosina; abajo, alanina. A la izquierda de la línea de trazos se ve la porción común a todos los aminoácidos, incorporada a la cadena principal; a la derecha, los grupos que forman las diferentes cadenas laterales.* (*derecha*) *Los dos aminoácidos unidos por un enlace péptido; quedan libres el grupo amino en el ápice y el grupo ácido en la base, prestos a formar enlaces peptídicos con otros aminoácidos para alargar cada vez más la cadena.*

Igual que en los ácidos nucleicos, la saturación de los enlaces secundarios de los diferentes grupos de una cadena de polipéptido, se ve favorecida si la cadena se enrolla en espiral. La espira α de Pauling y Corey (Fig. 17) es la forma más estable, aunque no la única que puede adoptar la cadena. La clase de espiral formada, o, en términos más generales, el modo de ligarse cada radical con sus vecinos a lo largo de la cadena, constituye la estructura secundaria de una proteína.

De lo dicho hasta ahora se podría deducir que las moléculas de proteína son como finos cordones o hilos. El colágeno, la queratina, y algunas proteínas musculares, por ejemplo, poseen ciertamente esa estructura, pero la mayoría de las enzimas son probablemente de forma esferoidal. Debemos suponer que sus cadenas o espirales están plegadas de algún modo hacia atrás y adelante para que la molécula toda se comporte en solución como si fuera una bola. Este plegamiento constituye la estructura terciaria de una proteína.

Muchas enzimas poseen uno o más grupos no proteínicos (grupos prostéticos) que son la sede de su actividad catalítica. La función precisa de esos grupos depende, por lo regular, de que se hallen combinados a una proteína específica.

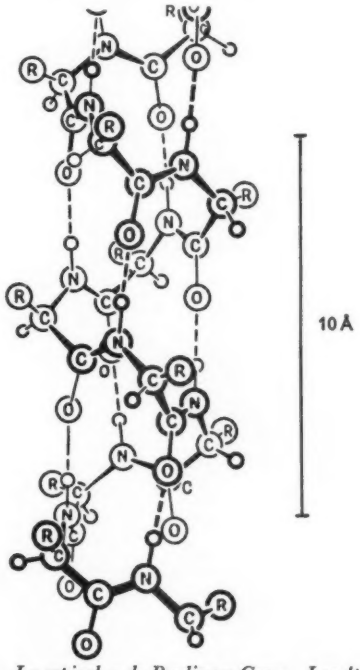


FIGURA 17 – *La espiral α de Pauling y Corey. Los átomos marcados con R representan cadenas laterales.* (*Autorización de L. Pauling, R. B. Corey y H. R. Branson* [20].)

Falta señalar todavía un importante punto en esta introducción a la estructura de las proteínas. Lo específico de una proteína no es sólo el número de cadenas de polipéptido y la secuencia de los radicales aminoácido, sino también lo referente a sus estructuras secundaria y terciaria. La molécula de proteína es comparable a un animal por su anatomía tridimensional conformada a un plan concreto, rígido en ciertas partes, flexible en otras, y sujeto quizá a pequeñas variaciones según los diferentes individuos de igual especie.

Las estructuras químicas y cinéticas han permitido averiguar mucho acerca de la sede catalítica de ciertas enzimas, así como de la índole de las reacciones que catalizan, pero hasta la fecha nos falta todo conocimiento detallado sobre la estructura de ninguna enzima, e incluso nos falta la más grosera información acerca de la mayoría de ellas. El problema requiere un doble ataque, que en lo químico será indagar el número de cadenas, la secuencia de radicales y la índole del enlace proteína–grupo prostético; en lo físico, averiguar de qué modo se enrollan y pliegan las cadenas de polipéptido y la naturaleza de los enlaces secundarios que las mantienen unidas. Ambos ataques han sido emprendidos por miembros del *Medical Research Council* de Cambridge, uno de ellos en el Departamento de Bioquímica, por F. Sanger y colaboradores, y el otro por el Conjunto de Biología Molecular del Laboratorio Cavendish. Ambos métodos resultan en extremo laboriosos.

El camino seguido por Sanger culminó en la determinación por éste de la constitución de la insulina, la cual contiene 51 radicales dispuestos en dos cadenas estrechamente ligadas (Fig. 18) [7]. Este descubrimiento representa uno de los grandes logros de la química de las proteínas. Sirvió, ante todo, para eliminar la más leve duda acerca de la hipótesis polipeptídica que enunció Hofmeister hace más de 50 años. Sanger sentó el hecho de que los radicales aminoácidos se disponen según una sucesión definida y determinada genéticamente, pero refutó la común creencia de que esa sucesión fuera regular. Puso en claro el cometido que cabe a los puentes de cistina en la arquitectura de las moléculas de proteína, y el carácter químico de la especificidad de las especies. Y lo más importante fue que Sanger demostró que se puede determinar la fórmula completa de una proteína por métodos químicos, al menos en lo que se refiere a los enlaces covalentes primarios. Con esto, promovió gran cantidad de investigaciones en todo el mundo.

El estudio físico de la estructura de las proteínas cristalizables se basa en el análisis roentgenográfico. Utiliza los espectros de difracción, generalmente con cristales sencillos. Esta técnica se ha usado mucho para determinar la disposición de los átomos en los componentes orgánicos. Empero, la mayoría de estos componentes son por lo menos cien veces más pequeños que las moléculas de proteína, resultando sumamente dificultoso aplicar a éstas el mismo tipo de análisis [8]. Ningún ensayo había obtenido información suficiente, hasta que nosotros descubrimos en 1953 que la dificultad podía soslayarse estudiando el espectro roentgenográfico a partir de una pareja de cristales isomorfos, de los cuales uno contenga sólo proteína y el otro un complejo de proteína con algún átomo pesado, tal como mercurio. Sin embargo, pronto se vió, que un par isoformo era insuficiente, requiriéndose toda una serie de compuestos isomorfos con átomo pesado, ligado éste en diferentes lugares de la molécula de proteína en cada compuesto [9]. Hoy es éste el método que utilizan corrientemente muchos laboratorios para analizar la estructura de proteínas cristalizables y de virus (Fig. 6).

El mayor éxito de este método ha sido el obtenido durante los últimos meses, cuando J. C. Kendrew consiguió construir el primer modelo tridimensional de una molécula de proteína. Se trata de la mioglobina, proteína de peso molecular 17 000, compuesta por una larga cadena polipeptídica de 150 radicales en sucesión conocida, unida a un grupo prostético reducido a una molécula de hemo, que es la misma que en la hemoglobina. Como ésta, la mioglobina es capaz de combinarse reversiblemente con oxígeno molecular; los vertebrados la utilizan para almacenar oxígeno en los músculos.

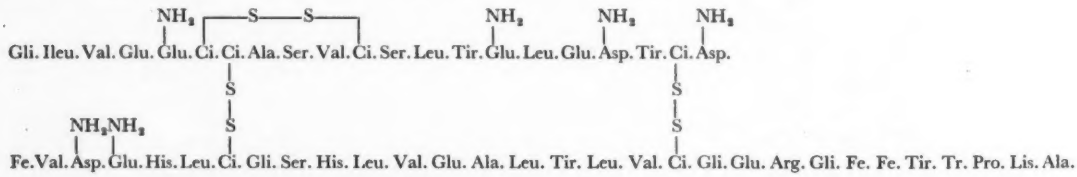


FIGURA 18 – *Constitución química de la insulina de vaca.* (*Autorización de A. P. Ryle* et al. [7].)

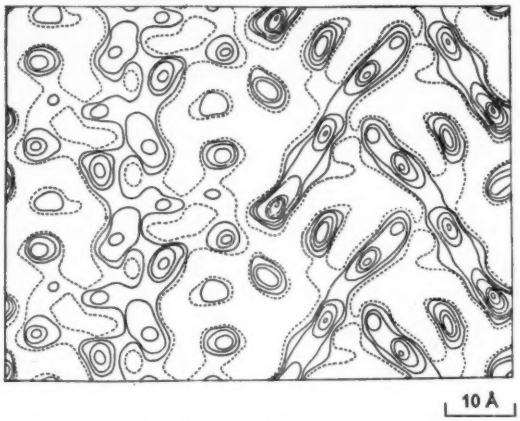


FIGURA 19 – *Sección a través de varias moléculas de mioglobina. Las crestas largas de alta densidad que se ven a la derecha, representan cadenas de polipéptido* [10].

El modelo Kendrew resulta de un análisis roentgenográfico tridimensional que muestra la distribución de densidades en la molécula de mioglobina según una serie de secciones paralelas, comparables a secciones histológicas hechas con microtomo, pero a escala mil veces menor (Fig. 11) [10]. La Fig. 19 ilustra una de tales secciones, apareciendo como un mapa hipsométrico donde montes y valles expresan regiones de alta y baja densidad, respectivamente. Estas secciones suelen permitir la resolución de átomos determinados, como ocurre con las de penicilina mostradas en la Fig. 12. Sin embargo, al analizar moléculas del tamaño de proteínas, es conveniente proceder a la resolución de los átomos por etapas. En la primera etapa del análisis de la mioglobina, el poder resolutivo vale sólo 6 Å, valor harto grosero para resolver cadenas laterales determinadas de aminoácidos (no digamos átomos), aunque bastó para mostrar el grupo hemo y tramos grandes de la cadena polipeptídica. Con dicho grado de resolución, la cadena es como una nube de alta densidad, como el rastro de gases de un avión, con escasa diferenciación; el grupo hemo con su átomo central de hierro, reconocible por la gran densidad, parece una esfera algo aplastada. Detectando las regiones de alta densidad a través de las diferentes secciones, Kendrew pudo construir un modelo satisfactorio de molécula de mioglobina (Fig. 13). Este revela una estructura muy intrincada y mucho más compleja de todo cuanto habíamos imaginado. La cadena polipeptídica se ve curvada y retorcida formando un complicado cestillo tridimensional que abarca al grupo hemo de manera sutil. Es posible deducir, a partir de una de las secciones, cuál sea el punto donde se liga el átomo de hierro a la cadena polipeptídica, pero al parecer existen otros dos puntos adicionales de contacto entre la cadena y el anillo de protoporfirina. Sólo queda claro el lado al que se une el oxígeno. No es posible todavía averiguar la naturaleza de los grupos químicos que participan en la interacción hemo-cadena polipeptídica, ni tampoco la configuración de la propia cadena, aunque, en vista de las distancias que separan distintos tramos donde se repliega sobre sí misma, y habida cuenta de su forma cilíndrica, se adivina que va enrollada en espiral. Sobre la clase de espiral aún no hay nada claro.

En sus próximos análisis, Kendrew intentará elevar el poder resolutivo a 2 Å, suficiente para patentizar las vueltas de la espiral y las posiciones de las cadenas laterales mayores. La resolución de átomos ofrece excesivas dificultades y aún continúa inaccesible.

Nuestros propios trabajos versan sobre la estructura de la hemoglobina, sustancia que tiene un peso molecular de 67 000 (el cuádruple que la mioglobina) y contiene cuatro cadenas de polipéptido y cuatro grupos hemo. Se compone de dos mitades idénticas (no de cuatro cuartos iguales), unidas entre sí para formar una molécula groseramente esférica de dimensiones 55 × 55 × 70 Å. Mientras que el modelo de la mioglobina se basa en la distribución de densidades a lo largo

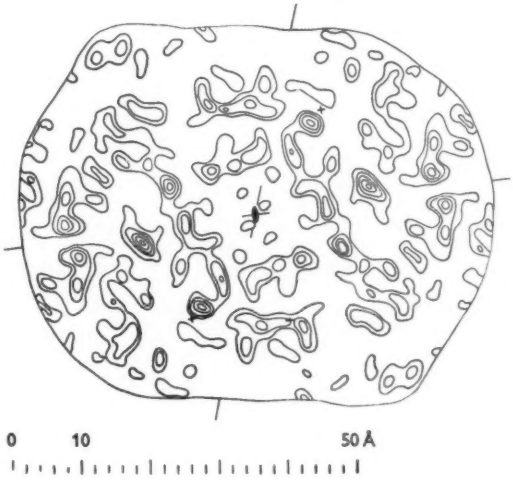


FIGURA 20 – *Diagrama (proyección plana) de distribución de densidad en la molécula de hemoglobina. El símbolo central señala un eje de simetría binaria. La molécula se compone de dos mitades estructuralmente idénticas. Las crestas representan regiones de alta densidad. Los contornos en los valles se han omitido.*

de una serie de secciones muy próximas a través de la molécula, en la hemoglobina, todo lo que hoy podemos observar es la distribución de la densidad vista como proyección sobre un plano (Fig. 20). Esta imagen tiene una resolución de 2,8 Å, lo que, en principio, es suficiente para diferenciar detalles significativos, aunque tiene el inconveniente de la superposición de numerosos rasgos proyectados sobre el mismo plano, algo así como la radiografía de un animal, en la que todos sus órganos aparecen superpuestos. En todo caso, esta proyección marca sólo una etapa del desarrollo del análisis tridimensional, que debe conducir al modelo molecular en un futuro no muy distante. Abrigamos la esperanza de que tal modelo dará la disposición de los cuatro grupos hemo, y de cuatro de los seis grupos sulfidrilo, así como la colocación de las cuatro cadenas de polipéptido. Con un poco de suerte quizá podamos ver también de qué modo se unen una con otra las dos mitades de la molécula, y la relación existente entre las estructuras de la molécula de mioglobina y la de hemoglobina [11].

Quizá se pregunte el lector qué utilidad tengan análisis tan dificultosos. Es decir, imaginemos que un hada buena se aparezca de pronto y nos entregue un pliego donde consten las posiciones de todos los 10 000 átomos dentro de la molécula de hemoglobina, ¿Qué beneficios nos reportaría? Con el análisis de la insulina por Sanger, supimos cuál es la estructura primaria que debe atribuirse a las proteínas; pero antes del modelo Kendrew de la mioglobina, nada seguro se conocía de las estructuras secundaria y terciaria. La resolución total de la estructura de una proteína mediante los rayos X, abriría una verdadera mina de información estereoquímica y explicaría racionalmente fenómenos esenciales de la química de las proteínas, tales como la actividad enzimática, la desnaturalización, la solubilidad, la accesibilidad de grupos químicos y la especificidad de las proteínas específicas. Probablemente surgirían también algunos principios estructurales de general aplicación a las proteínas, aunque, en el presente estado de cosas, no es posible asegurar si tales principios existirán realmente, o si quedarían ensombrecidos por la individualidad específica de cada proteína. El estudio detallado de la estructura de las proteínas podría llevar a una interpretación mucho más profunda de las funciones fisiológicas y patológicas.

Aparte de esas amplias miras que justifican el estudio roentgenográfico de cualquier proteína cristalizable, existen razones específicas para concentrarnos en el estudio de la estructura de los portadores de oxígeno. Nos atrae, ciertamente, esa posición central y exclusiva que toma el complejo ferro-porfirina en el metabolismo de células y animales. El hemo, por sí solo, no forma compuesto con el oxígeno molecular; esta propiedad le es conferida a condición de ir combinado a la proteína específica globina. Es nuestro deseo determinar la clase de enlaces que ligan el hemo con la globina.

Preciso es considerar la diferente manera de combinarse el oxígeno en la mioglobina y en la hemoglobina. La primera da una curva hiperbólica de disociación, mientras la segunda muestra la conocida curva sigmoidea. Se explica esto por tener la mioglobina un solo grupo hemo, lo que produce reacción con el oxígeno según una ley unimolecular, mientras que en la hemoglobina los cuatro grupos hemo se influyen mutuamente a efectos de su afinidad por el oxígeno. No obstante, la molécula de hemoglobina — como un todo — sufre cierto cambio estructural al oxigenarse y reducirse, cosa que no sucede a la mioglobina. Solo por análisis con rayos X pueden conocerse las posiciones de los cuatro grupos hemo y algunos cambios que sufren esas posiciones durante la oxigenación y reducción. Ello contribuirá a comprender las dos más importantes propiedades fisiológicas de la hemoglobina: la curva sigmoidea de disociación de oxígeno, y el efecto Bohr, esto es, el hecho de ser la oxihemoglobina un ácido más fuerte que la hemoglobina reducida y que, por tanto, absorba menos anhídrido carbónico. Otro importante problema por resolver es el referente a las diferencias estructurales entre la hemoglobina adulta y fetal.

Se dijo ya que la propiedad de unirse al hierro es específica de la combinación del hemo con la globina. El mismo grupo hemo posee propiedades químicas muy diferentes si va combinado a distintas proteínas. En la hemoglobina, el átomo de hierro persiste en su forma ferrosa, tanto en la oxigenación como en la reducción. En los citocromos, que actúan como enzimas respiratorias, la catálisis acarrea rápida oxidación y reducción, oscilándose entre el estado ferroso y el férrico. Las peroxidasas y las catalasas, en cambio, tienen como estado normal el férrico y hacen de catalizadores para la oxidación de ciertos agentes reductores por medio de peróxidos y otros oxidantes enérgicos. El peso molecular de la catalasa (224 000) resulta demasiado grande para un estudio cristalográfico, pero la peroxidasa (41 000) y el citocromo C (13 000) quedan ya dentro del marco

de lo posible. El citocromo C fue cristalizado y examinado con rayos X por primera vez por Bodo [12].

Actualmente los portadores de oxígeno, como las enzimas respiratorias con sede catalítica conocida, ofrecen un campo de investigación con rayos X probablemente más prometedor que, por ejemplo, las enzimas proteolíticas, las cuales carecen de grupo prostético. Será, sin embargo, posible aprender algo sobre las sedes catalíticas de otras enzimas al estudiar complejos cristalinos de enzima e inhibidor.

Hasta ahora hemos limitado nuestra exposición a las proteínas solubles, casi exclusivamente; apenas hemos dicho nada de las fibrosas, cuya función principal es la contractilidad, la protección y servir de soporte estructural. La espiral α y lámina plegada de Pauling y Corey, y la espiral triple que recientemente proponen algunos investigadores para el colágeno, han sentado los rasgos generales sobre la estructura de proteínas fibrosas. Queda ahora como incógnita principal, la estructura detallada de las dos proteínas musculares, la miosina y la actina, así como su relación con el mecanismo deslizante de la contracción muscular descubierto recientemente por H. E. Huxley [13] y A. Hanson y por A. F. Huxley y F. Niedergerke. Esto constituye un gran problema en sí, problema que se sitúa en muy otro campo de la biología molecular: el de la estructura y el movimiento, tratado recientemente por Huxley en ENDEAVOUR [13].

ESTRUCTURA DE PROTEINAS, LAS MUTACIONES Y LA ESPECIFICIDAD DE LAS ESPECIES: ESTRUCTURA DE LOS ANTICUERPOS

Después de tratar de la estructura de los ácidos nucleicos y las proteínas, pasemos a considerar otra vez la relación entre un gene y el efecto que produce, examinando el de las mutaciones genéticas que afectan a las proteínas. Caso de existir cierta correspondencia directa entre la secuencia de pares de bases del ADN y la secuencia de radicales aminoácido en la cadena de polipéptido, una mutación que consista en un cambio de la clave genética, se manifestaría como cambio en la secuencia de aminoácidos.

Empezemos por considerar el efecto de una sola mutación. La globulosis en hoz, y la hemoglobulosis-C, son dos defectos congénitos con herencia mendeliana. Ambos son debidos a la presencia de hemoglobinas anómalas que alteran perniciosamente las propiedades del hematíe. El

HbA . . . $\overset{+}{\text{His}}$—Val—Leu—Leu—Tr—Pro—*Glu*$^-$—Glu$^-$—$\overset{+}{\text{Lis}}$ . . .

HbS . . . $\overset{+}{\text{His}}$—Val—Leu—Leu—Tr—Pro—*Val*—Glu$^-$—$\overset{+}{\text{Lis}}$ . . .

HbC . . . $\overset{+}{\text{His}}$—Val—Leu—Leu—Tr—Pro—*Lis*$^+$—Glu$^-$—$\overset{+}{\text{Lis}}$ . . .

FIGURA 21 – *Secuencia de aminoácidos residuales sobre un breve segmento de una de las cadenas de polipéptido de la hemoglobina. La primera fila (HbA): hemoglobina humana normal; segunda (HbS): en hemoglobina de globulosis en hoz; tercera (HbC): en hemoglobina de globulosis-C. Nótese que todos los radicales, excepto uno en cursiva, permanecen inalterados.*

pasado año, V. M. Ingram y J. A. Hunt descubrieron que la anormalidad consiste en el cambio de sólo uno de los 300 radicales aminoácido que contiene la semimolécula de hemoglobina: un determinado radical ácido glutámico es reemplazado por valina en la hemoglobina de la globulosis en hoz, y por lisina en la hemoglobulosis-C (Fig. 21) [14]. Este descubrimiento indica que la alteración de un solo radical proteínico de posición molecular «sensible» puede surtir profundo efecto en las propiedades fisiológicas. En lo genético, este cambio mínimo sugiere que hay una sola mutación del gene hemoglobina, y, en el orden molecular, al ser igual el radical reemplazado en ambas dolencias, sugiere que el *locus* de la mutación globulosis en hoz, va muy ligado —sino es idéntico — al *locus* de la mutación globulosis C.

El descubrimiento de Ingram ha demostrado en forma clara y sorprendente que las mutaciones laboran a muy fina escala, aunque igual puede decirse, sin duda, del modo como los cambios evolutivos se manifiestan en la estructura de las proteínas. Es bien sabido que tanto la composición en aminoácidos como la forma cristalina, el carácter antigénico y otras propiedades de una proteína dada, varían de una especie orgánica a otra. Las recientes investigaciones de Sanger, Du Vigneaud, Li, y otros nos permiten vislumbrar los cambios en la secuencia de aminoácidos que implican tales diferencias específicas. Por ejemplo, Sanger y colaboradores han hallado que la trama principal de la insulina es igual en especies tan diferentes como la vaca, caballo, cerdo, oveja y ballena. Los reemplazamientos afectan sólo a una región «sensitiva en las especies» que queda entre las dos mitades de radical cistina que forman el puente interno de una de las dos cadenas. Una alanina es susceptible de ser cambiada por una treonina, una glicocola por una serina, y una valina por una *iso*leucina [15]. Estos cambios son sin duda inocuos, a pesar de que el puente de

cistina al que se unen distintos radicales resulta ser esencial para la actividad hormónica. No está claro si estos tres radicales varían por corresponder a una región inestable del gene de la insulina, o si lo que ocurre es que son letales las mutaciones que implican sustitución de cualquier otro de los 48 radicales de la molécula de insulina. En otras hormonas se han hallado diferencias específicas que consisten en la sustitución de uno o dos radicales.

Las variaciones ocurridas en esos péptidos y proteínas se manifestarían en algunas mutaciones que hicieron evolucionar la especie. Lo que más nos maravilla de esto, es la prueba de que las mutaciones parecen operar en una escala tan fina, afectando sólo a un radical cada vez. Muchos creemos — aunque difícilmente podríamos fundamentar tal creencia — que la causa de tales mutaciones es la sustitución de un único par de bases en la doble espira del ADN que integra el gene. Esto no podrá ser comprobado todavía, pero al menos cabría contrastar indirectamente la hipótesis de la secuencia si comparásemos los datos genéticos sobre sucesión y separación de *loci* mutantes en un gene, con los datos químicos sobre las variaciones de secuencia de aminoácidos controlada por ese gene. El sistema del bacteriófago de Benzer, en el que éste pudo cartografiar más de 100 *loci* en un solo gene, parece ser una puerta que conduce hacia una solución del problema.

Otro tipo de cuestión que cabría reconsiderar aquí es la de la estructura de los anticuerpos: ¿qué diferencia hay entre dos moléculas de anticuerpo que responden a dos diferentes haptenes? ¿Estriba sólo en el distinto modo de plegarse la cadena del polipéptido en dos proteínas químicamente idénticas, o es debida a una alteración en la secuencia de los aminoácidos? Quizá las técnicas analíticas muy delicadas que ahora desarrollan Sanger e Ingram puedan responder a esas preguntas.

ESTRUCTURA DE MICROVIRUS Y MICROSOMAS

Si se ha escogido el bacteriófago como el virus para los estudios de genética y crecimiento, los microvirus vegetales se han revelado como el material ideal para la investigación de la estructura molecular. A diferencia del bacteriófago y otros macrovirus, éste contiene sólo ARN y carece de ADN. El ARN se combina con las proteínas en proporciones que varían en distintos virus. Hacia 1930, cuando por primera vez se pudieron cristalizar los virus vegetales, alguien los calificó de «genes al desnudo» por su parecido con moléculas autorregenerables. Hoy sabemos que el calificativo es erróneo. Las magníficas investigaciones de Fraenkel-Conrat en Berkeley, y de Schramm y Gierer en Tubinga, demuestran que sólo el ARN es infectivo y portador de información genética. Así pues el ARN es el gene, y hoy sabemos también que no está desnudo, sino bien envuelto en un forro proteínico.

Los estudios de virus con rayos X, como los de proteínas menores cristalizables, fueron iniciados por J. D. Bernal hace unos 20 años. Los resultados ya obtenidos, especialmente con el virus del mosaico del tabaco, son impresionantes, si se tiene en cuenta el gigantesco tamaño de las moléculas y las enormes dificultades técnicas y teóricas que presentan. El virus del mosaico del tabaco (VMT) posee un peso molecular de 45 millones y se compone de 95% de proteína y 5% de ARN. Tiene forma de bastón de 3 000 Å de longitud y 170 Å de anchura cuando humedecido (Fig. 10). Es notable su carácter cristalino. Los rayos X revelan en él una trama molecular que se repite a intervalos a su largo, de donde se deduce que la parte proteínica — al menos — debe consistir en una formación regular de subunidades idénticas.

Durante los últimos 5 años, gracias al conjunto de investigaciones roentgenográficas independientes de J. D. Watson, D. Caspar, Rosalind Franklin y A. Klug, y a las observaciones con microscopio electrónico de R. Williams, R. Hart, y H. E. Huxley, disponemos de una imagen intrigante de la estructura interna del VMT (Fig. 15). Nuestra primera sorpresa fue descubrir que el bastón es hueco, con un agujero de 40 Å de diámetro en su centro. Arrollada en torno al hueco existe una larga cadena de ARN que contiene unos 8 000 nucleótidos. Nada sabemos aún sobre la estereometría de esta cadena, pero por tener no menos de diez veces la longitud del virus, podemos inferir que probablemente forma un cordón espiral como el filamento de tungsteno de una bombilla. El cordón de ARN va envuelto por una formación de moléculas de proteína según muestra la Fig. 15. Mucho de todo esto se conoce gracias a estudios físicos [16].

Gracias a estudios químicos conocemos además la constitución de estas moléculas de proteína. Cada proteína tiene un peso molecular de 17 000 y se compone probablemente de una cadena sencilla con 150 radicales. Los radicales de los extremos de la cadena están ya determinados pero se ignora cómo sea el resto de la secuencia.

Se han descubierto otros virus vegetales en

forma de bastón que poseen estructura muy similar a la del VMT. Los demás microvirus se ven de forma esférica al microscopio electrónico, y la mayoría de los que han sido cristalizados parecen cúbicos, entre ellos el de la poliomelitis (Fig. 8). La estructura de esos virus esféricos entraña alto interés bioquímico y médico. Gracias al análisis roentgenográfico que permite revelar una simetría cristalográfica, puede simplificarse un problema que parecía de complejidad inextricable, pues, en este caso particular, la simetría cúbica de los cristales implica que las propias partículas de virus se componen de cierta cantidad de subunidades de igual estructura y simétricamente dispuestas.

R. Markham indicó hace varios años que el virus amarillo del nabo se debe de componer de una corteza de proteína que envuelve una médula de ARN. Esta idea, como la de la simetría cúbica, condujo a J. D. Watson y F. H. C. Crick a averiguar de cuántas maneras diferentes se pueden disponer en forma regular círculos sobre una superficie esférica. Pronto averiguaron que el problema había sido ya resuelto por Platón. Excluyendo disposiciones inaplicables a moléculas asimétricas, los únicos números posibles de círculos son 12, 24, y 60, cada uno de los cuales con simetría propia reconocible mediante el espectro de difracción con rayos X. Vistas tales partículas con microscopio electrónico de suficiente poder resolutivo, deberían aparecer como poliedros regulares y no como esferas y con una superficie morulada (Fig. 14).

Los resultados obtenidos hasta la fecha sustentan dichas previsiones. Por ejemplo, cierto microvirus vegetal esférico con un peso molecular total de 9 000 000 parece poseer una corteza de proteína que contiene 2×60 subunidades idénticas de peso molecular igual a 57 000 y dispuestas sobre las caras de un poliedro regular. No se sabe aún como se enrosca el ARN en el interior [16]. Otro virus, éste de un insecto, que contiene ADN, observado al microscopio electrónico se reconoce claramente como un icosaedro [17].

Las actuales observaciones, por tanto, llevan a la conclusión de que los microvirus poseen una médula de ácido nucleico encargado de transportar la información genética, protegido por una corteza a base de numerosas moléculas de proteína de tamaño relativamente pequeño dispuestas simétricamente. La médula de ácido nucleico lleva la clave para su propia réplica y para la fabricación de su proteína protectiva, así como para toda enzima necesaria en uno u otro de estos procesos, que no sea proporcionada por el huésped.

Los microsomas relacionados con la síntesis de proteína en células normales, parecen asemejarse por su forma y composición a los virus esféricos. Esto hace suponer que la infección con virus equivaldría a la inyección de un aparato que fabrica proteínas inadecuadas.

REFERENCIAS

[1] WATSON, J. D. y CRICK, F. H. C. *Nature, Lond.*, **171**, 737, 964, 1953.

[2] FRANKLIN, R. E. y GOSLING, R. G. *Ibid.* **171**, 740, 1953.
WILKINS, M. H. F., SEEDS, W. E. y WILSON, H. R. *Ibid.*, **171**, 738, 1953.

[3] BENZER, S. en *The Chemical Basis of Heredity.* W. D. McElroy y B. Glass (Compiladores). The Johns Hopkins Press, Baltimore. 1957.

[4] FELSENFELD, G. y RICH, A. *Biochim. Biophys. Acta*, **26**, 457, 1957.

[5] PALADE, G. E. *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, **1**, 59, 68, 1955.

[6] HOAGLAND, M. B., KELLAR, E. B. y ZAMECNIK, P. C. *J. biol. Chem.*, **218**, 345, 1956.

[7] RYLE, A. P., SANGER, F., SMITH, L. F. y KITAI, R. *Biochem. J.*, **60**, 541, 1955.

[8] CRICK, F. H. C. y KENDREW, J. C. *Adv. Protein Chem.*, **12**, 133, 1958.

[9] GREEN, D. W., INGRAM, V. M. y PERUTZ, M. F. *Proc. roy. Soc., A*, **225**, 287, 1954.

[10] KENDREW, J. C., BODO, G., DINTZIS, H. M., PARRISH, R. G. y WYCKOFF, H. *Nature, Lond.*, **181**. 662, 1958.

[11] CULLIS, A. F., DINTZIS, H. M. y PERUTZ, M. F. *Nat. Acad. Sci., Wash.* (*NAS-NRC publ.* 557), 1957.

[12] BODO, G. *Nature, Lond.*, **176**, 829, 1955; *Biochim. Biophys. Acta*, **25**, 428, 1957.

[13] HUXLEY, H. E. *Endeavour*, **15**, 177, 1956. *Vid. enim. J. Biophys. Biochem. Cytol.*, **3**, 631, 1957.

[14] INGRAM, V. M. *Nature, Lond.*, **180**, 326, 1957; HUNT, J. A. y INGRAM, V. M. *Ibid.*, **181**, 1062, 1958. *Vid. enim.* INGRAM, V. M. *Sci. Amer.*, **198**, 68, 1958.

[15] BROWN, H., SANGER, F. y KITAI, R. *Biochem. J.*, **60**, 556, 1955.

[16] CRICK, F. H. C. y WATSON, J. D.; CASPAR, D.; FRANKLIN, R. E., KLUG, A., y HOLMES, K. C. *The Nature of Viruses.* G. E. W. Wolstenholme y E. C. P. Miller (Compiladores). J. y A. Churchill Ltd., Londres. 1957.

[17] WILLIAMS, R. C. y SMITH, K. M. *Biochim. Biophys. Acta*, **28**, 464, 1958.

[18] CRICK, F. H. C. y WATSON, J. D. *Proc. roy. Soc., A*, **223**, 80, 1954.

[19] STEERE, R. L. y SCHAFFER, F. L. *Biochim. Biophys. Acta*, **28**, 241, 1958.

[20] PAULING, L., COREY, R. B. y BRANSON, H. R. *Proc. Nat. Acad. Sci., Wash.*, **37**, 207, 1951.

La química y la alquimia en la Cracovia del siglo XVI

WŁODZIMIERZ HUBICKI

Es poco conocida la historia de los orígenes de la química en Polonia, aunque hubo un período — el siglo XVI — en el que Cracovia era uno de los centros de los estudios alquímicos y químicos en Europa. En este artículo se describen algunas características de ese período y, entre otras cosas, una prueba por análisis cuantitativo de una muestra de oro producido, al parecer, por transmutación.

Cracovia, capital medieval de Polonia, posee una de las más antiguas universidades centroeuropeas. Fundada en 1364, en el siglo XVI contaba con florecientes escuelas en las diversas disciplinas de la magia: en ellas inició Fausto sus investigaciones. Esos estudios estaban prohibidos — aunque con poco éxito — en la Universidad; pero, por otra parte, las cátedras oficiales de astrología y alquimia hacían de ella un centro famoso. En efecto, los calendarios astrológicos cracovianos gozaban de gran reputación en toda Europa aún entrado el siglo XVII, y lo mismo puede decirse de las escuelas de alquimia.

Es fácil comprender por qué la «alquimia práctica», precursora de la química, y distinta de la alquimia de la piedra filosofal y el elíxir de larga vida, alcanzó tan gran importancia en la Polonia de aquel tiempo. En esa época, los yacimientos mineros trabajaban con gran intensidad: las minas de plata de los Montes Tatra, las nuevas minas de plomo de Olkusz, y las fundiciones de cobre, latón y plomo [2]. Cracovia era el centro de todas esas actividades.

Una de las fundiciones más importantes (de la que un escritor de la época dijo que «arrojaba humo como un Etna») estaba en Mogila, justo en las afueras de Cracovia. Había sido establecida por Jan Thurzo y producía cobre, que se exportaba a Flandes, Francia y Gran Bretaña. Le Real Casa de la Moneda de Cracovia usaba plata extraída del mineral de cobre. Un Real Decreto de 1516 ordena el establecimiento de un laboratorio.

Esta *Camera Separatoria* debía ocuparse de la separación de los metales preciosos y de la preparación de los flujos y ácidos necesarios. La dirigía Kasper Ber, de Cracovia, de donde era también Thurzo. El prestigio de Ber como metalurgista, como hoy le llamaríamos, era suficiente para que vinieran a aprender con él gentes de Hungría, Alemania y Bohemia.

Agrícola [3] describe el método de cupelación usado en Polonia y posiblemente establecido por Ber [4]. Las descripciones que hace de estas técnicas polacas parecen indicar su progreso con respecto a la época. También los métodos de prueba estaban muy avanzados. Un Real Decreto de 1555 establece que el estaño puro importado de Inglaterra o de Sajonia debe marcarse con las iniciales reales y una corona. La pureza del metal se establecía comparando la densidad de una probeta con la del estaño puro.

Este método difícilmente indica un procedimiento científico exacto, pero en general, las pruebas daban resultados muy acertados, a base de cuidadosas pesadas. Las balanzas eran, por lo tanto, muy importantes ya en esa época, y numerosos textos de aquella fecha sobre la materia describen cuidadosamente su construcción. Un libro característico es el de C. Schreittmann [5] en el que no sólo se describe la balanza, sino también en gran detalle las pesas, indicando que deben ser de plata, guardarse en cajitas especiales y tocarse sólo con pinzas. Es un libro muy práctico, a pesar de llamar las pesas más pequeñas «átomos» y describirlas así: «tan livianas son como las partículas de polvo que flotan en un rayo de sol».

También Agrícola describe el cuidado con que deben realizarse las pesadas [6]: «Es necesario que la persona que haya de tomar las pruebas tenga todos los conocimientos precisos para tal trabajo, que cierre las puertas de la cámara en la que se encuentre el horno de pruebas, para que ningún importuno venga a distraer sus pensamientos cuando se halla concentrado en su labor. Es también necesario que coloque sus balanzas dentro de una caja para evitar que una corriente de aire agite los platillos en el momento en que coloca en ellos los diminutos botones del metal.»

Es interesante su descripción de la prueba del

FIGURA 1 – *Horno usado en Polonia para la producción de plomo* [4]. *V, Horno polaco; P, método westfaliano de fundición; Q, montones de carbón vegetal; R, paja; T, crisoles.*

oro [7]: «Un dracma (unos 3,6 g) de la muestra que se desee probar se funde con una onza (unos 30 g) de plomo, añadiéndose el flujo, que es la llamada sal artificial. Se pesa el grano de oro fundido. El paso siguiente es la determinación de la cantidad de plata en el oro, que se realiza mediante la piedra de toque y las agujas de prueba, o tratándolo con ácido nítrico. El mineral de plata se determina por cupelación con plomo.» Es notable la exactitud de esos procedimientos.

Se conservan algunas muestras de aleaciones y los análisis de uno de los discípulos de Kasper Ber,

FIGURA 2 – *Horno polaco de cupelación usado en el siglo* XVI [3]. *A, horno semejante a un hogar; B, canal; C, barras de hierro; D, orificio por el que se retira el litargirio; E, crisol sin bóveda; F, leños gruesos; G, fuelle.*

y yo he podido demostrar que esos resultados sólo divergen en menos de un 1% de los obtenidos hoy. Tal exactitud exigía el uso de reactivos de gran pureza, ya que la existencia de cloruros en el ácido nítrico, por ejemplo, hubiera resultado en la disolución del oro y el impedimento de la de la plata. El ácido se purificaba por destilación sobre limaduras de plata.

Otro personaje que llegó a Polonia hacia esa época (1520) fue Paracelso, típico representante, por no decir creador, de otro enfoque de la química. Instaló su consultorio médico en Cracovia donde, según documentos, curó al hijo de un rico ciudadano, Francisco Boner. Su receta era el *oleum philosophorum*, una destilación de aceite vegetal con ladrillo machacado.

Poco se sabe de los discípulos de Paracelso, aunque conocemos los nombres de dos de ellos, David Meyer y el médico de la corte, Albert Baza, que eran ambos polacos; el grupo paracelsiano de 1560 ha dejado más claros vestigios.

Cracovia era uno de los grandes centros del movimiento. Paracelso vivía fuera de la ciudad, en Breslau, poco antes de su muerte, pero existían relaciones comerciales e intelectuales muy importantes entre ambas ciudades.

El grupo de Cracovia se ocupaba de la alquimia, pero no en el sentido transmutacional. Así, Adam Schröter escribe desde Nissa: «Sólo los idiotas pueden creer que la alquimia es el conocimiento de la creación del oro. El propósito de esa disciplina es el descubrimiento de nuevas medicinas». El mismo autor ha dejado también una interesante descripción en términos paracelsianos de las famosas minas de sal de Wieliczka [8] donde dice que la sal resulta de tres *principia*: sal, azufre y mercurio. La sal — dice — tiene muchos usos, como en la fundición de minerales y oro y en la preparación del *aurum potabile* o elíxir. Una vez mencionado éste, debe añadir las sabias palabras de que «no todo el mundo conoce el sagrados misterios de la sal». Menos misteriosas son sus palabras cuando habla del aceite que se encuentra en esas minas. «El petróleo, creáme el lector, es muy importante, sobre todo cuando se combina con la sal. Dios ha dado petróleo a nuestro país, Polonia, nación de riquezas a quienes todos admiran.»

El mismo Schröter, ayudado económicamente por Albert Łaski, rico palaciego polaco, fomentó considerablemente la difusión de las doctrinas paracelsianas mediante la traducción de *Archidoxae* y *De praeparationibus* del alemán, poco leído, al latín.

Otro paracelsiano distinguido fue Joachim Rheticus, discípulo de Copérnico, quién habitó algún tiempo en Cracovia, y, en 1567, escribía a Joachim Camerarius, profesor de Leipzig: «Recientemente he tenido noticias de una nueva escuela alemana de medicina, formada de discípulos de Teofrasto [Paracelso]. Yo conocí a Teofrasto en 1532 y ciertamente me pareció un gran hombre, autor de magníficas obras. . . . Me interesa grandemente la química y la astronomía, pero vivo gracias a la medicina». Su interés por la química aparece también en otra carta al filósofo francés Pierre Ramus, en la que dice: «Mi curiosidad por la química me ha llevado a estudiar sus fundamentos y soy autor de siete libros sobre dicha materia» [9].

Había otros seguidores de Paracelso en Cracovia. Mardocheus Nelle, médico judío, escribió un tratado sobre los «cementos» (flujos es el término moderno), que era un comentario de *De transmutationibus metallorum* de Paracelso; otros eran Jan Miączynski, catedrático de medicina de la Universidad de Cracovia, autor de un trabajo sobre la producción del ácido sulfúrico a partir del vitriolo, y otro profesor, Kasper Skarbimirski, editor de un tratado llamado *Epistolae alchemicae.*

Es curioso que el más notable de los paracelsianos de aquel tiempo sea hoy apenas conocido. Era Alexis Suchten [10], hijo de un rico e influyente ciudadano del puerto de Danzig. Aparece mencionado en el *Album diligentarium* de la Universidad de Cracovia como *Alexius Zuchta de Gedano alias etiam Suchten dictus Kaszuba Polonus*, que dictó cátedra en 1521–22. En 1539 era canónigo en Frauenburg, y contemporaneo de Copérnico. Luego estudió en Lovaina y en Italia y en 1549 era bibliotecario de Otto Heinrich, uno de los electores palatinos. Colecció entonces libros de alquimia y quizá llegó a conocer las obras de Paracelso, consiguiendo muchos seguidores y discípulos. En 1554 regresó a Cracovia, donde llegó a ser médico del rey Segismundo Augusto. En 1563 salió de Polonia y marchó a la corte del príncipe Albert de Prusia, en Königsberg, y hacia 1570 pasó a Estrasburgo, donde dió a la imprenta sus primeras obras sobre el antimonio.

Suchten fue abundantísimo autor de poemas, disertaciones teológicas y tratados de química y medicina. Entre sus obras más importantes están su *Liber unus de secretis antimonii* y *De antimonio vulgari*, que, con otras obras, fueron traducidos al inglés por Cable en 1670 y por A. Waite en 1893. Se daba a sí mismo el apodo de «Chymicus» y llamaba «alquimistas» a los que perseguían la transmutación, aunque él era también experto en muchos de los procedimientos alquímicos de destilación y purificación, y en uno de sus experimentos busca claramente demostrar la transmutación. Hace una descripción de las pruebas de una «plata alquímica», que resultó ser una aleación de antimonio, y de una muestra de oro alquímico que un orfebre había considerado verdadero y que Suchten mismo creyó durante algún tiempo haber demostrado.

Este último experimento es muy interesante porque es la primera demostración publicada de una refutación experimental de la transmutación haciendo uso de una balanza. Suchten escribe: «Y ahora vengo al ☉[1] y es de maravillarse lo que me sucedió. Dijéselo a mi buen amigo, que había creído hallar un Potosí y no quería dar crédito a mis palabras. Así, tomando la media onza de oro, quise ponerla a prueba y la llevé al señor *Hans*, orfebre y batihoja, quien aseguró ser oro verdadero y que como tal podía trabajarlo, ya que a la vista, a la piedra de toque y al martillo se conducía como un muy buen ☉. Con todo ello, tomé el ☉ y lo puse a granular en 2℥ de ☾, dividiéndolo en *aq. fort.*; la ☾ se disolvió hundiéndose el ☉. Esa prueba era pues válida. Mezclé luego este *Sol* en polvo con ♂ crudo y colé por *Regulus*, dejándolo flotar en un crisol y arrojando *Nitro* sobre él; retiré el ♂ del *Sol* con ♄, prueba que también dió válida. Este *Sol* retirado, colé otra vez con ♂ y ♃; luego tomé *Regulus* y le dí una buena ventalla con el fuelle del batihoja, que yo ninguno tengo. También *Sol* resistió esa prueba, de lo que todo buen químico debiera alegrarse.»

«Con todo, recordando que *Luna* me había engañado una vez, no me fiaba yo de *Sol*, y batiéndolo muy fino lo amalgamé con mi ☿ de ♂, dejándolo durante cuatro semanas en tibieza y notando que la amalgama no era muy dura, sino más bien blanda, lo que me causó desazón; pero, como digo, la dejé cuatro semanas, hallándola mucho más húmeda que cuando la había puesto. La introdujé luego en un crisol sobre un magro fuego para que aquél no se encandilara y mi ☿ se me voló como un rayo del ☉, tanto que ni verlo pude, si no más bien pensé que mi ☿ se había coagulado en ☉, pero cuando pesé mi ☉ no hallé más que media onza y dos dracmas, creyendo ciertamente que las dos dracmas eran puro oro.

[1] En aquella época se usaban indistintamente los nombres de las substancias, sus denominaciones astronómicas y sus símbolos. En esta cita, los símbolos son: ☉, *Sol*, oro; ☾, *Luna*, plata; ♂, antimonio; ♄, *Saturno*, plomo; ♃, azufre; ☿, mercurio.

Esas dos dracmas probé luego con ☿ de ♁ en la misma manera que antes; luego, después de haber evaporado el Mercurio hallé otra vez las dos dracmas, de lo que me regocijé muy mucho, esperando que mi amigo me diese noticia de su fórmula, con lo que sería yo dueño de montes de oro. Así envié un buen mensaje a mi amigo, pero él no se alegró sino que con malos humores me dijo «Vaya, ¡después de todo lo que trabajado y gastado en este ☉, que es mucho más de lo que decir pudiera! Pues el oro que le ha quedado a vuesamerced no viene del *Regulus*, sino que es oro del bueno que yo había puesto, porque sin él no pude coagular el *Regulus* en ☉. Así, el buen *Sol* ha resistido todas las pruebas, pero no el que serlo parecía. Con lo que sé que ya más no puedo hacer para hacerlo si no es saber por qué no se hace y que no es lo hecho lo que yo esperaba».

La determinación con que persigue probar la inexistencia de la creación del oro es impresionante, y su descubrimiento de que sólo se trataba de una aleación significa un gran éxito. El oro que había era el que estaba ya en la aleación; los alquimistas recurrían frecuentemente a ese procedimiento, creyendo que el oro se multiplicaría.

Existía también una escuela anti-paracelsiana, dirigida en Alemania por Thomas Erastus, y en Cracovia por Andrzej Grutyński, catedrático de la Universidad y autor de dos tratados, *Medicus dogmaticus* y *Solus philosophicus*, contra Paracelso.

La importancia de Polonia en la política europea del siglo XVI se manifiesta en los muchos viajes de gente importante entre Cracovia y otras grandes ciudades europeas. Así, Albert Łaski fue a Inglaterra en 1583, invitado por la reina Elizabeth; tomó además parte en una controversia en Oxford en la que Giordano Bruno defendía las teorías de Copérnico y las suyas propias. También fue a Kenilworth y trabajó con los alquimistas John Dee y Edward Kelley hasta que se le terminaron los fondos y tuvo que huir para escapar a la prisión por deudas. Pero llevó consigo a John Dee y Edward Kelley, con sus familias. Dee ha dejado en sus memorias una descripción de una reunión en el palacio del rey Stefan Batory en Niepolomice, cerca de Cracovia. Conoció a otras muchas personas en la capital, entre ellas Hanibal Roselli, confesor del rey y editor de libros herméticos, y a otros profesores de Cracovia.

Como se ve, existía un gran interés por la alquimia en Cracovia, tanto por parte de los reyes (tales como Segismundo Augusto, Stefan Batory y Segismundo III) como de algunos obispos (Krasński y Padniewski), nobles y muchos ciudadanos: había charlatanes y sus víctimas, pero poco a poco se fue haciendo oír la voz de la razón. Muchos denunciaron a los charlatanes. Grutyński escribía [12]: «Un químico busca el buen calor para hacer oro; pero la vera natura de los metales nos dice que no podemos hacer oro, sino sólo una substancia que tiene la apariencia del oro. Hay una diferencia eterna entre el oro natural y esas mezclas. Y es estúpido trabajar y sudar en humos extraños y arrojar tiempo y dinero de esa manera.»

Suchten ataca también a Lull, quien según la leyenda hizo un oro con el que Edward III mandó acuñar monedas. La leyenda está llena de anacronismos, pero Suchten niega la posibilidad de la transformación en su *Elegia de Nobel Raymundi moneta Anglicana*. . . . [13]:

«. . . *Ex aliis aurum nunquam fecisse metallis*
Creditur, aut pueros hoc docuisse suos:
. . . *Lulle valete,*
Nobile Raymundi vana moneta tua est.»

REFERENCIAS

[1] WIER, J. *De praestigiis daemonum et incantationibus* . . . Basilea. 1564.

[2] HUBICKI, W. *Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska*, Sec. *AA*, **10**, 7, 1955.

[3] AGRICOLA, G. *De Re Metallica*, traducido al inglés de la ed. princ. lat. de 1556 por H. C. Hoover. Pág. 483. Londres. 1912.

[4] *Idem. Ibid.*, pág. 392.

[5] SCHREITTMANN, C. *Probierbüchlein* . . ., pág. 18. Francfort-del-Meno. 1580.

[6] AGRICOLA, G. *De Re Metallica*. Pág. 223. Londres. 1912.

[7] HUBICKI, W. *Georgius Agricola*. Págs. 104–30. Academia Polaca de Ciencias, Wrocław (Breslau). 1957.

[8] SCHRÖTER, A. *Regni Poloniae Salinarum Vieliciensium Descriptio*. Cracovia. 1554.

[9] RHETICUS, J. Colección Trew. Biblioteca de la Universidad de Erlangen. 1821.

[10] HUBICKI, W. *Studia i Materialy z dziejów nauki polskiej*. Págs. 102–20. Academia Polaca de Ciencias. Varsovia. 1953.

[11] SUCHTEN, A. *Chymische Schrifften alle* . . ., pág. 295. Francfort-del-Meno. 1680.

[12] *Idem. Ibid.*, pág. 298.

[13] GRUTYŃSKI, A. *Medicus Dogmaticus*. Cracovia. 1598.

[14] SUCHTEN, A. *Chymische Schrifften alle* . . ., pág. 489. Francfort-del-Meno. 1680.

Radicales bloqueados

H. P. BROIDA

La teoría de las reacciones químicas adquirió gran impulso cuando se vió que los productos de reacción son el resultado de reacciones intermedias complejas en las que casi siempre intervienen radicales libres. El estudio de estos radicales se ha visto dificultado por su reactividad y existencia en concentraciones pequeñas, hasta que recientemente se combinaron la física de las bajas temperaturas y las técnicas de la investigación estructural para estudiar radicales libres bloqueados en sólidos inertes. En este artículo se describen la técnica y los resultados del estudio de los radicales bloqueados.

Una de las contribuciones más importantes del siglo pasado al pensamiento científico fue la noción de que las reacciones ocurren mediante una serie de pasos bien definidos. Se comprobó que incluso las reacciones relativamente simples como la formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno, se verifican a través de una serie de pasos intermedios. La reacción total consiste en un gran número de reacciones elementales que con frecuencia significan la existencia de productos intermedios altamente reactivos, que normalmente tienen una vida muy corta. Los radicales libres forman un tipo importante de estos productos intermedios.

El estudio de la estructura y las propiedades de los radicales libres y de sus reacciones es muy difícil, debido a su gran reactividad, a su corta vida y a que las concentraciones que pueden conseguirse son pequeñas. No obstante, por distintos métodos se ha conseguido recoger una cantidad considerable de información [1]; han sido especialmente fructíferas las deducciones hechas a partir de observaciones cinéticas de las reacciones de los radicales; la luz emitida y absorbida por los radicales, particularmente en llamas y gases calientes, también ha suministrado considerable información [2]; en ciertas condiciones, se han podido extraer los radicales formados en una reacción química y pasarlos a un espectrógrafo de masa [3].

Hace pocos años varios investigadores decidieron, casi simultáneamente, estudiar la posibilidad considerada por G. N. Lewis [4] en 1941, de conservar radicales de peso molecular bajo rodeándolos de moléculas constituídas por átomos con los cuales no podían reaccionar. Los resultados de estos estudios han demostrado que los radicales de reactividad elevada pueden bloquearse en sólidos a baja temperatura [5] en concentraciones superiores al 1%.

ASPECTOS HISTORICOS

El bloqueo de radicales fue obtenido inadvertidamente por muchos investigadores interesados en otros problemas. Con toda probabilidad, las primeras observaciones de radicales bloqueados las llevó a cabo en Londres J. Dewar quien observó la aparición de destellos y de colores brillantes en los productos formados al someter diversos sólidos a la acción de rayos ultravioleta a la temperatura del aire líquido [6]. En 1911, R. J. Strutt [7] intentó, sin éxito, bloquear a la temperatura del aire líquido la especie activa en la postluminiscencia de una descarga a través de nitrógeno. Entre 1924 y 1935, L. Vegard, trabajando en Leyden y en Oslo, realizó un extenso estudio del espectro emitido por gases condensados a temperaturas de 4,2° K al ser bombardeados con iones y electrones [8]. Vegard estaba interesado principalmente en comprobar las hipótesis — incluyendo la de las reacciones de radicales libres — formuladas para explicar fenómenos tales como la aurora boreal. Independientemente, J. C. McLennan llevó a cabo estudios semejantes en Toronto [9].

La segunda fase en el desarrollo del problema la constituye el estudio de mecanismos en cadena en los que intervienen radicales libres y del efecto de las superficies frías sobre esos mecanismos. M. Bodenstein y F. Haber contribuyeron mucho al estudio de este tema y más tarde se les unieron Geib y Harteck, interesados en la formación, en condiciones varias, de peróxido de hidrógeno a baja temperatura. Este trabajo, que exigía la condensación de los productos formados al saltar descargas eléctricas a través de vapor de agua, vapor de peróxido de hidrógeno, hidrógeno mezclado con oxígeno, y amoníaco, ocupó la atención de otros investigadores. Recientemente, esta fase ha empalmado con las investigaciones de P. A. Giguère y C. A. Winkler [10], que utilizaron los productos de la descarga, y de Everett y G. J.

Minkoff que congelaron rápidamente productos de explosiones.

La tercera fase, que es la actual, se inició con el trabajo de F. O. Rice, que es probablemente el primero que intentó retener radicales libres de gran reactividad en sólidos y que presentó pruebas definitivas de la retención de especies químicas inestables como resultado del enfriamiento rápido y de la condensación de los productos originarios descompuestos [11].

TECNICA EXPERIMENTAL

La condensación a temperaturas inferiores a 25° K de los productos de la descarga eléctrica a través del nitrógeno presenta características espectaculares. Además, estos experimentos, aunque son lo suficientemente sencillos para que se puedan repetir con facilidad, constituyen una muestra de las técnicas utilizadas y de los problemas con que se tropieza en el estudio de los radicales bloqueados.

El aparato consiste en un sistema de bombas capaz de producir un vacío del orden de 10^{-6} mm de mercurio, un frasco Dewar doble que contiene helio líquido, y un dispositivo para producir descargas eléctricas. El nitrógeno, a una presión alrededor de 1 mm de mercurio, se pasa a través de una descarga producida sin necesidad de electrodos por un generador (125 W, 2450 Mc/s). Con ayuda de una bomba, los productos de la descarga, constituídos principalmente por átomos y moléculas de nitrógeno, se hacen pasar en menos de 0,1 sec a una superficie de vidrio Pyrex mantenida a 4,2° K por medio de helio líquido (Fig. 6).

Los productos que resultan de someter el nitrógeno a la acción de la descarga se han estudiado durante muchos años [12] y se conocen como «nitrógeno activo». En una habitación oscura, este gas «activo» se manifiesta como una luminiscencia amarilla que llena la parte del tubo situada más allá de la descarga (Fig. 5). Cuando el nitrógeno «activo» alcanza la superficie fría, aparece inmediatamente una luminiscencia de color verde cálido (Fig. 7). Al cesar la corriente de nitrógeno activo, la luminiscencia verde (postluminiscencia) persiste durante varios minutos en la pared fría (Fig. 8). Durante la deposición, o bien después de la desaparición de la luminiscencia, puede verse, con ayuda de luz reflejada, un sólido blanco (Fig. 9). Si el sólido se calienta a unos 10° K, vuelve a producir luminiscencia (luminiscencia durante el calentamiento) emitiendo luz verde (Fig. 14). Si se sigue calentando, al alcanzarse los 30° K se produce una luminosidad azul (Fig. 17). En presencia de argón, el sólido con frecuencia se desprende de la superficie de Pyrex cuando cesa la luminiscencia (Fig. 18).

La adición de pequeñas cantidades de oxígeno al nitrógeno antes de someterlo a la descarga, cambia la luminiscencia verde en amarillenta (Fig. 11). Este efecto es más pronunciado a temperaturas más elevadas. Si la concentración de oxígeno es superior a unas cuantas unidades por ciento, la luminiscencia del sólido desaparece. Si se añade un exceso de argon al nitrógeno, la luminiscencia del sólido durante la deposición es azul (Fig. 12). Con flujos gaseosos elevados, a veces se puede observar una débil luminiscencia en el gas cerca del sólido (Fig. 19).

Durante la deposición se observa una serie de destellos amarillos y azules en el sólido, que, al fotografiarlos en color a una velocidad de 16 exposiciones por segundo, se ve que aparecen en posiciones localizadas. En algunos casos se observan pequeñas zonas de intensa reacción que se desplazan rápidamente a través del sólido (Fig. 20). Estas regiones son fácilmente reproducibles en un determinado experimento. La reproducibilidad se atribuye en parte a gradientes de temperatura y en parte a imperfecciones en el sólido. En algunas ocasiones el calor desprendido es tan elevado que todos los productos activos se destruyen y la luz desprendida es suficiente para velar completamente un clisé de la película.

Para tener una idea más clara de la naturaleza de la luz emitida es conveniente examinar el espectro que se obtiene bajo distintas condiciones. Las Figs. 2–4 representan espectros obtenidos durante la deposición de nitrógeno sometido a descargas. Sus características más notables son los sistemas α (verde) y β (amarillo) que pueden verse con más detalle en la Fig. 3. El grupo α formado por una serie compacta de cinco líneas bien definidas alrededor de los 5230 Å, parece casi seguro que es emitido por átomos de nitrógeno, y se debe a la transición desde el estado electrónico ^2D al estado normal ^4S. El sistema α′ más débil y el α″ mucho más débil aún (Fig. 4*a*), que se presentan cuando el grupo α aparece con gran intensidad, parecen estar relacionados con un complejo de enlace débil entre N y N_2. El grupo β, formado por tres líneas difusas cerca de los 5575 Å, se debe probablemente a la transición ^1S–^1D del oxígeno atómico. Entre los 3572 y 6390 Å se observan las bandas A encabezadas por líneas bien definidas (Figs. 2*b*, 4*b*). Las extensas bandas B (Figs. 2*c*, 4*c*) son de origen desconocido, si bien es posible que estén relacionadas con el NO_2. La luz azul emitida en presencia de un exceso de argón (Fig.

12) se debe a una serie de bandas definidas que empiezan en los 4450 Å y se extienden hasta el ultravioleta (Fig. 2*d*). Estas bandas se conocen como el sistema Vegard-Kaplan y se deben a la transición $A^3\Sigma$–$X^1\Sigma$ del nitrógeno molecular. A estas bandas se debe también la luminiscencia azul emitida durante el calentamiento en presencia de un exceso de argón (Fig. 17). Si la concentración de nitrógeno en argón es inferior al 20%, aparece un sistema de bandas moleculares bastante intensas que no ha sido identificado (bandas M en Figs. 12*d* y 4*d*). El argón produce además un desplazamiento en la posición de las líneas β y cambios importantes en las intensidades relativas de las líneas α (Fig. 3).

Cuando termina la deposición de nitrógeno y el sólido empieza a calentarse, se producen cambios importantes en el espectro, como puede verse en la Fig. 21. Las primeras fotografías obtenidas después de cesar la descarga (postluminiscencia, Fig. 14) muestran que la intensidad de las líneas α del nitrógeno atómico disminuye (clisés 1–6, Fig. 21). Sin embargo, al evaporarse el helio líquido (clisé 6), la intensidad de las líneas α aumenta simultáneamente con la de las líneas β del oxígeno atómico, dando la luminiscencia verde del calentamiento (Fig. 15). A temperaturas superiores a 25° K, aparecen las bandas B que originan la luminiscencia azul del calentamiento (Fig. 16). Por encima de 30° K la emisión disminuye extraordinariamente (clisé 18, Fig. 21).

Al calentar los productos condensados a 4,2° K que se forman al someter el nitrógeno a la descarga, se desprende una gran cantidad de calor. Suponiendo que se debe a la recombinación de átomos de nitrógeno, puede calcularse el número de dichos átomos bloqueados en el sólido. Hasta ahora, debido a dificultades inherentes a las condiciones requeridas para el bloqueo de productos activos, se han tenido que emplear técnicas calorimétricas especiales poco precisas. Durante la deposición es esencial un buen contacto térmico con el termostato a 4,2° K para evitar la pérdida de especies activas a temperaturas más altas. Además, durante el calentamiento del depósito sólido, el calorímetro debe estar térmicamente aislado, necesitándose un orificio relativamente grande para trasladar el nitrógeno activo al calorímetro sin destruir las especies activas. Como es difícil satisfacer simultáneamente todas esas condiciones, se ha adoptado una solución intermedia. El nitrógeno activo sólido se calienta rápidamente en un calorímetro mediante una resistencia eléctrica, y el tiempo requerido para alcanzar una temperatura «alta» prefijada se compara con el tiempo que se necesita para una masa igual de nitrógeno no activado. La Fig. 1 muestra algunas curvas típicas para el tiempo de calentamiento. El nitrógeno activado se calienta más rápidamente, lo que conduce a la conclusión de que existe una concentración de nitrógeno atómico de unas cuantas unidades por ciento [13].

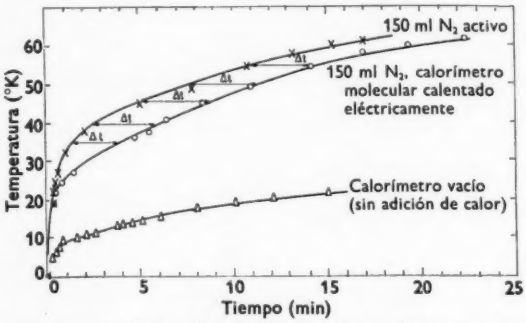


FIGURA 1 – *Curvas de calentamiento para nitrógeno activo, para nitrógeno molecular (calentado eléctricamente) y para el calorímetro vacío.*

CONOCIMIENTOS ACTUALES SOBRE LOS RADICALES BLOQUEADOS

Es indudable que dentro de los próximos años se modificarán considerablemente los detalles que hemos revisado brevemente en este artículo. No obstante, las conclusiones fundamentales son definitivas: *a*) los radicales libres obtenidos por una diversidad de métodos pueden bloquearse en sólidos a baja temperatura; *b*) a temperaturas suficientemente bajas, esos radicales pueden conservarse durante tiempo indefinido; *c*) los radicales bloqueados pueden emitir luz, desprender calor e intervenir en reacciones químicas.

Se han presentado pruebas convincentes de haberse conseguido el bloqueo de tres radicales atómicos libres: H, N y O. De la resonancia del espín electrónico se han obtenido pruebas inequívocas de la presencia de electrones no compartidos, demostrándose así que tanto el H [14] como el N [15] pueden estabilizarse en sólidos a baja temperatura. Se ha observado la presencia de átomos de H en concentraciones de cerca del 0,1% en H_2 sólido a 4,2° K que antes de su deposición había sido sometido en estado gaseoso a la acción de una descarga. Se han irradiado varios ácidos sólidos a 77° K con rayos procedentes de cobalto 60, viéndose que los átomos de H quedan bloqueados y que su concentración no varía incluso después de permanecer durante varios meses a 77° K. La espectroscopía óptica de emisión ha indicado la

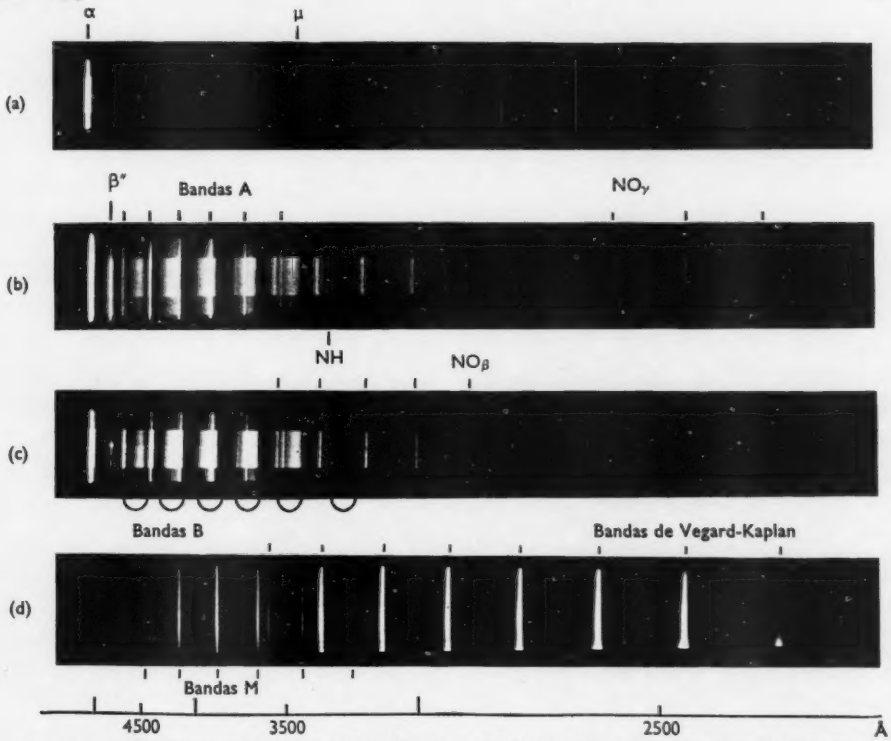


FIGURA 2 – *Espectros emitidos por sólidos durante la deposición a 4,2° K; espectrógrafo de prisma de cuarzo f/4; placas 102 a-O.* a) *Nitrógeno puro; flujo, 1,5 cm³/sec; exposición, 1 min. y 3 min.* b) *Nitrógeno comercial; flujo, 1,5 cm³/sec; exposición, 1 min. y 3 min.* c) *Nitrógeno puro al que se ha añadido 0,1% de oxígeno; flujo, 1,5 cm³/sec; exposición, 1 min. y 3 min.* d) *Mezcla de 5% de nitrógeno con 95% de argón; flujo, 2 cm³/sec; exposición, 3 min.*

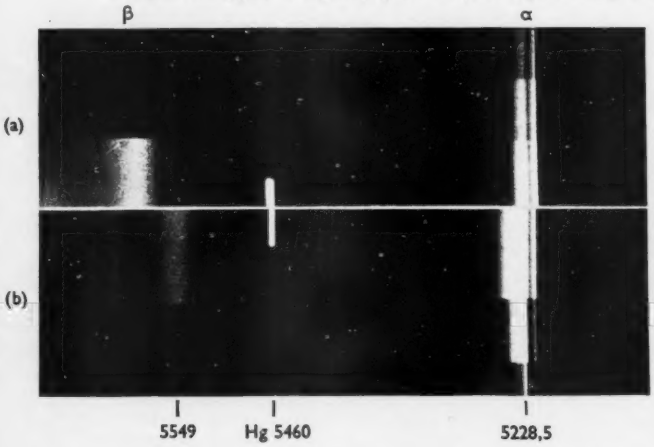


FIGURA 3 – *Espectro emitido por sólidos durante la deposición a 4,2° K; espectrógrafo con prisma de vidrio f/10; placa 103 a-F.* a) *Mezcla de 5% de nitrógeno con 95% de argón; flujo, 2 cm³/sec; exposición, 7, 14 y 23 minutos.* b) *Nitrógeno puro al que se ha añadido 0,1% de oxígeno; flujo, 1,5 cm³/sec; exposición, 3, 9 y 27 min.*

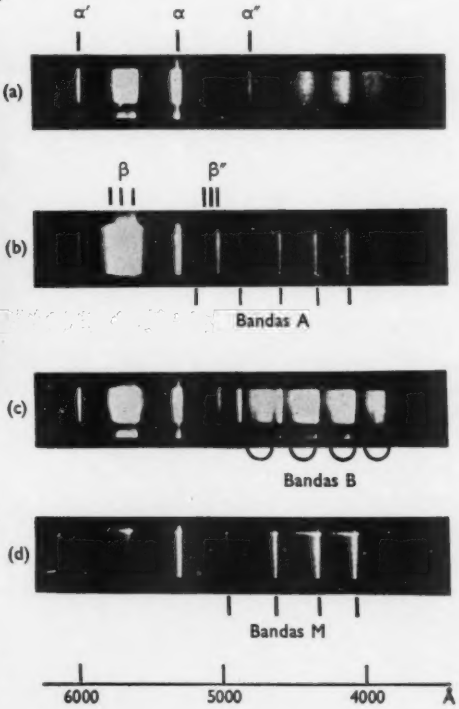


FIGURA 4 (*derecha*) – *Espectros emitidos por sólidos durante la deposición a 4,2° K; espectrógrafo con retícula de vidrio f/0,625; película 103 a-F.* a) *Nitrógeno puro; flujo, 1,5 cm³/sec; exposición, 80 sec.* b) *Nitrógeno comercial; flujo, 1,8 cm³/sec; exposición, 5 sec.* c) *Nitrógeno puro al que se ha añadido 0,1% de oxígeno; flujo, 1,5 cm³/sec; exposición, 80 sec.* d) *Mezcla de 5% de nitrógeno con 95% de argón; flujo, 2 cm³/sec; exposición, 5 sec.*

FIGURA 5 – *Luminiscencia en el gas después de una descarga a través de nitrógeno con pequeñas impurezas de oxígeno.*

FIGURA 6 (*derecha*) – *Superficie de vidrio Pyrex sobre la que se han condensado los productos de la descarga. El helio líquido empieza a llenar la cámara.*

FIGURA 7 – *Nitrógeno durante la descarga.*

FIGURAS 7–20 – *Fotografías en color*[1] *de la luminiscencia producida por sólidos formados por condensación de los productos de la descarga sobre mezclas gaseosas conteniendo nitrógeno. Normalmente, la exposición es de un segundo.*

FIGURA 8 – *Nitrógeno, sin deposición, después de la descarga: postluminiscencia.*

FIGURA 9 – *El sólido blanco visto con luz reflejada.*

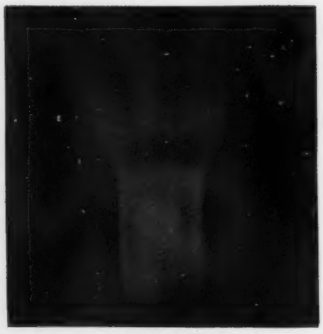


FIGURA 10 – *Mezcla de nitrógeno y argón durante la descarga.*

FIGURA 11 (*izquierda*) – *Nitrógeno con una pequeña cantidad de oxígeno, durante la descarga. Flujo relativamente elevado.*

FIGURA 12 (*derecha*) – *Nitrógeno con un exceso de argón durante la descarga.*

[1] *Las fotografías en color fueron obtenidas por Mr. Warren P. Richardson de la Sección de Servicios Fotográficos del* National Bureau of Standards.

FIGURA 13

FIGURA 14

FIGURA 15

FIGURA 16

FIGURA 17

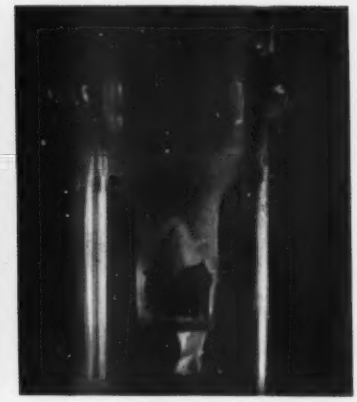
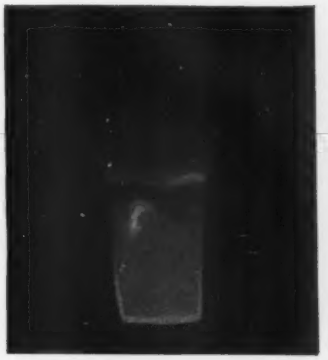


FIGURA 18 – *El sólido visto con luz reflejada poco después de ser tomada la fotografía de la Fig.* 17.

FIGURAS 13–18 – *Serie de fotografías tomadas inmediatamente después de la de la Fig.* 10, *a intervalos de* 5 *segundos aproximadamente, durante el calentamiento de una mezcla de nitrógeno y argón. Sin paso de gas.*

FIGURA 19 (*izquierda*) – *Nitrógeno y argón durante la descarga. Flujo elevado.*

FIGURA 20 (*derecha*) – *Destello azul observado durante la deposición.* (*Exposición,* 1/25 *sec aprox.*)



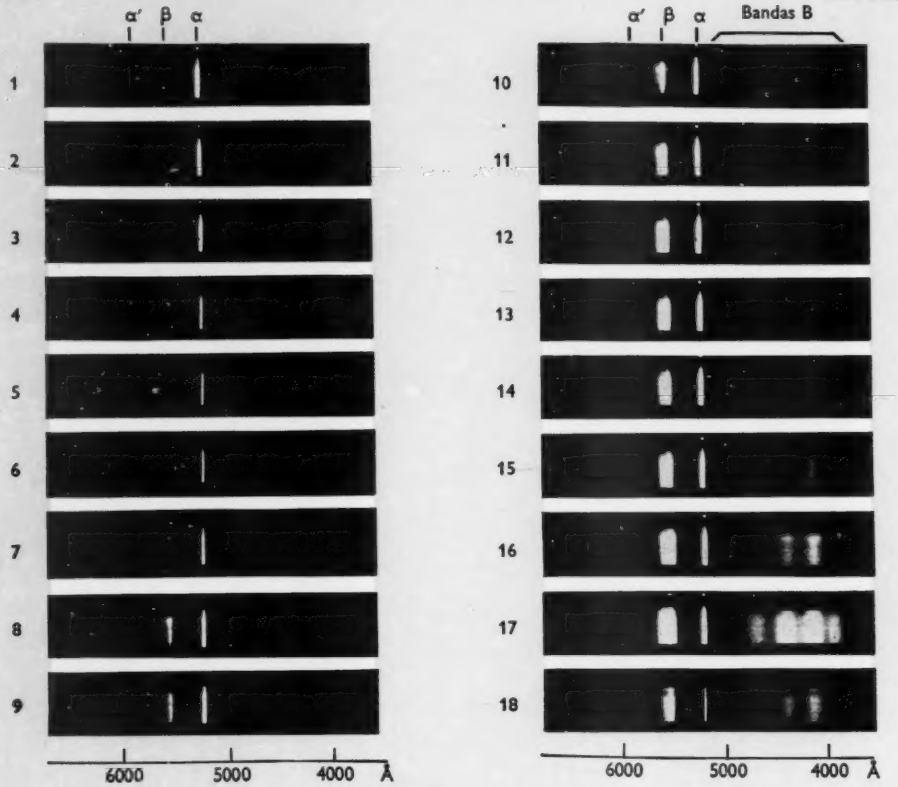


FIGURA 21 – *Espectro emitido durante la postluminiscencia y el calentamiento de nitrógeno sólido conteniendo 40% de argón; espectrógrafo con retícula de vidrio f/0,625; película 103 a-F; cada clisé tiene una exposición de 10 sec con un intervalo de 5 sec entre clisés consecutivos. Clisés 1–6, postluminiscencia; 7–16, calentamiento, período verde amarillento; 17–18, período azul.*

presencia de N y O bloqueados [16]. Hay pruebas de tipo químico [17], es decir: la interpretación de los productos obtenidos al calentar sólidos conteniendo sustancias activas, que apoyan la creencia de que esos radicales atómicos quedan bloqueados en sólidos a menos de 20° K en concentraciones de varias unidades por ciento. Los experimentos calorimétricos indican asimismo la presencia de varias unidades por ciento de N y de O [13].

El radical NH en sólidos ha sido objeto de muchas investigaciones. Rice y sus colaboradores [11] han hecho un extenso estudio de los productos de la descomposición del ácido nitrhídrico por fotólisis, pirólisis y por acción de la descarga eléctrica. Cuando tales productos se condensan sobre una superficie enfriada a 77° K se forma un brillante depósito azul. Al calentar, el color del depósito cambia repentinamente a blanco a 150° K, y algunas veces el cambio de color va acompañado de una violenta explosión. Las deducciones hechas a partir de los compuestos formados, apoyadas en evidencia basada en la absorción en el infrarrojo y el ultravioleta, indican que el radical NH tiene existencia en algún momento. El hecho de que antes de que se forme el sólido azul no se pueda detectar el NH en el gas con el espectrógrafo de masa hace suponer que su concentración es muy pequeña.

Se han bloqueado varios radicales orgánicos, hecho que se ha comprobado por espectroscopía óptica y por resonancia del espín electrónico. I. Norman y G. Porter [18] prepararon por fotólisis con luz ultravioleta varios radicales bloqueados a 77° K en «vidrios» de hidrocarburos sólidos, y comprobaron su presencia por espectroscopía de absorción en el ultravioleta. Se ha preparado una gran variedad de radicales orgánicos por fotólisis y su existencia se ha comprobado por su espín electrónico no compensado, utilizando la resonancia del espín electrónico. Generalmente, los espectros

son tan complicados, que la identificación específica del radical es imposible. No obstante, los radicales metilo, etilo y alilo [19] han sido identificados en diversos sólidos.

POSICION ACTUAL Y POSIBILIDADES FUTURAS

De pocos años a esta parte, las posibilidades del bloqueo de radicales han atraído el interés de muchos investigadores, y el tema está siendo estudiado en forma minuciosa. El plan general implica en primer lugar el estudio de métodos para la obtención de radicales bloqueados. Se está investigando el empleo de pirólisis, descargas eléctricas y reacciones químicas en gases para producir radicales libres, seguidas de enfriamiento rápido y condensación. Al mismo tiempo se estudia el uso de fotólisis, irradiación con rayos γ o bombardeo con partículas de elevada energía para producir directamente los radicales en el sólido frío.

En segundo lugar, se encuentran los problemas relacionados con la detección y la determinación de la concentración de los radicales bloqueados. Los métodos más empleados y que han dado mejores resultados son la resonancia del espín electrónico, la espectroscopía óptica (de 1400 Å a 25 μ) y la calorimetría. No obstante, se están construyendo aparatos, que se van a utilizar pronto, para aplicar a este problema la espectroscopía de masa, la susceptibilidad magnética, la difracción de rayos X, la difracción electrónica y las medidas dieléctricas.

En tercer lugar queda el problema de saber lo que ocurre cuando se eleva la temperatura del sólido que contiene los radicales bloqueados. Se están desarrollando métodos químicos para analizar los productos, y los métodos corrientes de la cinética química se están extendiendo a temperaturas más bajas para determinar las reacciones intermedias. Se está analizando la información obtenida del calor desprendido en función de la temperatura durante el calentamiento para determinar las velocidades de difusión y las especies químicas originalmente presentes en el sólido.

Finalmente, podemos considerar algunos avances relacionados con el bloqueo de radicales. Empiezan a cristalizar algunas ideas acerca de los factores químicos, estadísticos y de la teoría del estado sólido que rigen los diversos fenómenos. Parece que el uso de radicales libres como trazadores va a aumentar nuestros conocimientos del estado sólido, puesto que se puede introducir una perturbación definida, el radical libre, en el interior de sólidos moleculares normales. Además, del estudio de los radicales bloqueados puede surgir un nuevo tipo de química de las bajas temperaturas. Esto puede conducir a la obtención de nuevos compuestos químicos o de compuestos conocidos por métodos nuevos. Otra aplicación interesante puede ser la utilización de la energía almacenada en los radicales bloqueados como medio de propulsión debido al elevado impulso específico que se puede obtener de mezclas que contienen concentraciones elevadas de radicales libres de bajo peso molecular.

REFERENCIAS

[1] STEACIE, E. W. R. *Atomic and Free Radical Reactions.* Reinhold Publishing Corporation, Nueva York. 1954.

[2] GAYDON, A. G. *The Spectroscopy of Flames.* Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957.
PORTER, G. *Endeavour*, **16**, 224, 1957.

[3] LOSSING, F. P. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **67** (9), 499, 1957.

[4] LEWIS, G. N., LIPKIN, D. y MAGEL, T. *J. Amer. chem. Soc.*, **63**, 3005, 1941.

[5] BROIDA, H. P. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **67** (9), 530, 1957.

[6] DEWAR, J. *Proc. roy. Soc.*, **68**, 360, 1901.

[7] STRUTT, R. J. *Ibid.*, **86**, 56, 1911–12.

[8] VEGARD, L. *Ann. Phys.*, **6**, 487, 1930.
VEGARD, L. y STENSHOLT, S. *Skr. norske Vidensk-Akad.*, **1**, (9), 1935.

[9] MCLENNAN, J. C., SAMSON, E. W. y IRETON, H. J. C. *Trans. roy. Soc. Can.*, **23**, 25, 1929.

[10] JONES, R. A. y WINKLER, C. A. *Can. J. Chem.*, **29**, 1010, 1951.

[11] RICE, F. O. y FREAMO, M. *J. Amer. chem. Soc.*, **73**, 5529, 1951; **75**, 548, 1953.

[12] MITRA, S. K. *Active Nitrogen—A New Theory.* Indian Association for the Cultivation of Science, Calcuta. 1945.
BERKOWITZ, J., CHUPKA, W. A. y KISTIAKOWSKY, G. B. *J. chem. Phys.*, **25**, 457, 1956.

[13] MINKOFF, G. J., SCHERBER, F. I. y GALLAGHER, J. S. (En curso de publicación.)

[14] LIVINGSTON, R., ZELDES, H. y TAYLOR, E. H. *Disc. Faraday Soc.*, No. 19, 166, 1955.
JEN, C. K., FONER, S. N., COCHRAN, E. C. y BOWERS, N. A. *Phys. Rev.*, **104**, 846, 1956.

[15] COLE, T., HARDING, J. T., PELLAM, J. R. y YOST, D. M. *J. chem. Phys.*, **27**, 593, 1957.

[16] HERZFELD, C. M. y BROIDA, H. P. *Phys. Rev.*, **101**, 606, 1956.
BROIDA, H. P. y PEYRON, M. *J. Phys. Rad.*, **18**, 593, 1957; **19**, 1958.

[17] RUEHRWEIN, R., EDWARDS, J. W. y HASHMAN, J. (En curso de publicación.)

[18] NORMAN, I. y PORTER, G. *Proc. roy. Soc. A*, **230**, 399, 1955.

[19] SMALLER, B. y MATHESON, M. S. *J. chem. Phys.*, **28**, 1169, 1958.

La observación de los satélites: su método y fines

E. G. C. BURT

Los satélites terrestres contienen instrumentos para transmitir gran cantidad de datos acerca de las condiciones existentes en el espacio interplanetario, información tanto más útil si se puede localizar con precisión el satélite durante su revolución. Además los gráficos de su órbita facilitan datos valiosos sobre la Tierra misma. En este artículo se describen los métodos utilizados y los resultados obtenidos.

La aparición de los satélites artificiales como laboratorios espaciales ha abierto nuevas posibilidades en muchas ramas de la investigación. Los investigadores de las radiaciones solares, los fenómenos geofísicos y los rayos cósmicos, para sólo mencionar algunos, compiten entre sí para hacer uso del limitado espacio disponible en el laboratorio del satélite. El conocimiento del curso del satélite en el espacio, que puede obtenerse por medio de observaciones desde la superficie terrestre independientes de los instrumentos móviles es también muy útil. Aparte de su valor intrínseco, esta información acerca de la órbita ayuda a la interpretación de otros datos: las medidas de temperatura y de la intensidad de la radiación cósmica, por ejemplo, son mucho más valiosas si pueden ser referidas a un lugar y tiempo determinados.

METODOS DE RADIO

Existen muchos sistemas de observación de los satélites, todos los cuales son útiles en ciertas circunstancias. Si el satélite va provisto de un transmisor de radio hay varios métodos de radiolocalización. Estas técnicas son útiles especialmente durante la época inicial de la duración del vehículo espacial, cuando se conoce poco acerca de su trayectoria. El transmisor anuncia su posición en una región muy extensa, de tal forma que puede ser localizado sin un conocimiento previo de su órbita aproximada.

La disposición más simple es, probablemente, la que emplea el efecto Doppler. Si el transmisor del satélite emite una onda continua (no modulada) de frecuencia fija, la señal recibida en la superficie presenta un cambio de frecuencia, debido a la velocidad relativa del satélite respecto a la estación de observación. Las frecuencias recibida y transmitida (f y f_0) presentan la ecuación: $f=f_0(1+\dot{s}/c)$ donde c es la velocidad de la luz y s la distancia entre el satélite y el observador. Si, por consiguiente, se registra la frecuencia cuando el satélite se aproxima y aleja, la velocidad radial $\dot{s}$ puede ser calculada a partir de $\dot{s}=c(f-f_0)/f_0$.

En el instante de aproximación mínima, la velocidad radial será cero, pues entonces la velocidad relativa V_R es normal a la visual (Fig. 1); t segundos más tarde el satélite se habrá desplazado una distancia $V_R t$, de tal forma que

$$s^2=s_0{}^2+V_R{}^2t^2$$

donde s_0 es la distancia mínima. Diferenciando esta ecuación con respecto al tiempo obtenemos

$$t^2/\dot{s}^2=s_0{}^2/V_R{}^4+t^2/V_R{}^2$$

y una gráfica de $t^2/\dot{s}^2$ en función de t^2 debe ser por consiguiente una línea recta, de la que se pueden obtener V_R y s_0. En la Fig. 2 se muestra un resultado típico, obtenido al principio de la aparición de «Sputnik 1» (15 de octubre de 1957). Las medidas Doppler fueron efectuadas por la *Post Office Radio Station* en Banbury.

Puede hallarse el período orbital mediante la observación de tránsitos sucesivos por la misma estación. Sin embargo, el período no es simplemente la diferencia entre los tiempos de acercamiento mínimo. Ha de aplicarse una corrección para tener en cuenta que, en el período intermedio, la rotación de la Tierra ha alterado la posición del observador con respecto a la órbita del satélite.

La precisión con que puede determinarse la órbita a partir únicamente de datos del efecto Doppler depende, entre otras cosas, de la separación entre el satélite y las estaciones de observación y también de la de las estaciones entre sí. Para una triangulación conveniente estas distancias deben ser del mismo orden, pero esto no puede lograrse sin la cooperación activa del satélite, a no

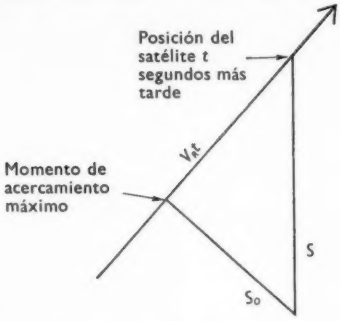


FIGURA 1 – *Relación entre distancias y velocidad relativa.*

ser que esté en funcionamiento un gran número de estaciones. Dadas las distancias que entran en juego (normalmente algunos cientos de kilómetros), las curvaturas de la órbita y de la Tierra son muy grandes para ser ignoradas, hecho que complica enormemente el análisis.

La refracción de las ondas de radio en la ionosfera puede conducir a errores considerables, particularmente en frecuencias bajas [1]. Las emisiones en 20 y 40 Mc/s de los dos primeros «Sputniks», por ejemplo, dieron frecuentemente cálculos muy diferentes de la posición del satélite, a no ser que estuviese pasando muy cerca de la vertical, en cuyo caso los caminos óptico y eléctrico son aproximadamente muy coincidentes. Una frecuencia mucho más satisfactoria — desde el punto de vista observacional — es la de 108 Mc/s utilizada en los satélites americanos; pero, naturalmente, las emisiones en 20 y 40 Mc/s

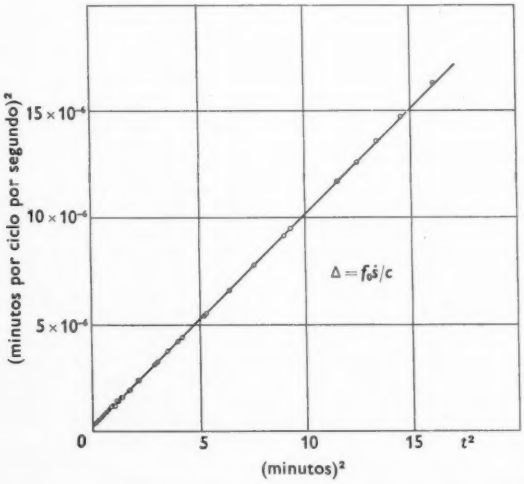


FIGURA 2 – *Derivación de V_R y s_0 a partir de datos del efecto Doppler.*

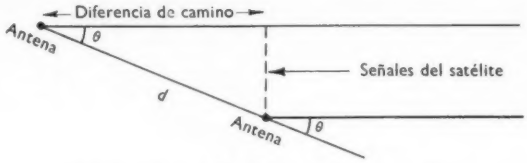


FIGURA 3 – *Principio del interferómetro.*

de los «Sputniks» facilitan un medio excelente de investigar fenómenos atmosféricos, particularmente si se puede estudiar independientemente la trayectoria real.

Un segundo método de observación utilizado con éxito es el radio-interferómetro. A diferencia del sistema Doppler, que mide la velocidad radial, el interferómetro facilita información acerca de la dirección, de tal forma que los dos métodos son complementarios. Como su nombre indica, el interferómetro hace uso de la distribución de interferencias entre las señales recibidas en un par de antenas, que viene determinada por la diferencia de las distancias entre el satélite y cada una de las estaciones receptoras. La separación entre las antenas — del orden de 50 ó 100 metros — es muy pequeña comparada con la distancia al satélite, de tal forma que las ondas del transmisor pueden considerarse como paralelas (Fig. 3).

Si el satélite se halla en un ángulo tal que la diferencia de distancias es exactamente igual a una semilongitud de onda, es decir si $d \cos \theta = \lambda/2$, la salida combinada de las dos antenas es cero, puesto que las dos ondas interfieren completamente. Evidentemente esto ocurrirá también cuando la diferencia de distancias es igual a un número impar de semilongitudes de onda; a medida que el satélite se mueve a lo largo de su órbita, el cambio de dirección de la radiación incidente origina una sucesión de tales ceros, cuya distribución depende de la dirección de la órbita con respecto a la línea que une ambas antenas. Durante el intervalo entre dos ceros sucesivos el aumento en $\cos \theta$ es λ/d, de tal forma que un registro de los tiempos en que ocurren los ceros da inmediatamente la velocidad de cambio del coseno director.

En vez de sumar simplemente las señales de las dos antenas es preferible medir su diferencia de fase; de esta forma se tiene una indicación continua de $\cos \theta$ [2] y al mismo tiempo la medida es casi independiente de fluctuaciones en la amplitud.

Puesto que el interferómetro no detecta cambios de un número entero de longitudes de onda en la diferencia de distancias, existen ambigüedades en las medidas del ángulo θ, que se hacen más

numerosas a medida que se aumenta la separación entre antenas. Dichas ambigüedades pueden resolverse únicamente a partir de un conocimiento aproximado de la órbita del satélite, obtenido por otro método, tal como otro interferómetro con un par de antenas mucho más próximas, obteniéndose una indicación «gruesa» y otra «fina». El sistema fino, con la separación mayor, es desde luego más preciso, porque una diferencia de fase dada corresponde a un incremento más pequeño de cos θ; pero esto no puede exagerarse, pues la medida de diferencias de fase se hace más difícil a medida que se aumenta la separación.

Puede obtenerse otro coseno director con un conjunto similar de antenas perpendiculares a las primeras; se puede entonces definir la dirección de la línea que une el satélite y la estación durante el tránsito del primero. Para deducir la órbita se necesita más información, tal como la distancia y velocidad relativa, facilitada por el efecto Doppler, o las direcciones respecto a otros interferómetros en lugares diferentes. Si esto no es posible, han de establecerse entonces algunas hipótesis acerca de la órbita.

Se ha visto que técnicas de radio como las descritas han dado información muy útil acerca de la órbita: la del primer «Sputnik» fue hallada con bastante precisión por métodos de radio únicamente [3, 4], a pesar de la baja y desventajosa frecuencia de 40 Mc/s; por otra parte, la radiointerferometría es el método común de observación de los satélites americanos, equipados con transmisores de 108 Mc/s.

Desgraciadamente los métodos de radio requieren asistencia activa del satélite: si el transmisor deja de funcionar, también quedan inútiles las estaciones Doppler y los interferómetros. El transmisor del «Sputnik 1» cesó de emitir unas tres semanas después de ser lanzado, mientras que el del «Sputnik 2» duró menos de una semana. El empleo de baterías solares, que transforman la radiación solar en energía eléctrica, ha extendido enormemente la duración de tales instrumentos, pero existe todavía el riesgo de un fallo eléctrico o mecánico y es prudente buscar otros métodos por si ocurre tal contingencia.

OBSERVACIONES POR MEDIO DE RADAR

Una posibilidad es situar el transmisor en la superficie y utilizar el satélite meramente como reflector de energía: la técnica del radar. Las distancias son grandes y el área reflectora pequeña, así pues se obtiene un eco suficientemente intenso

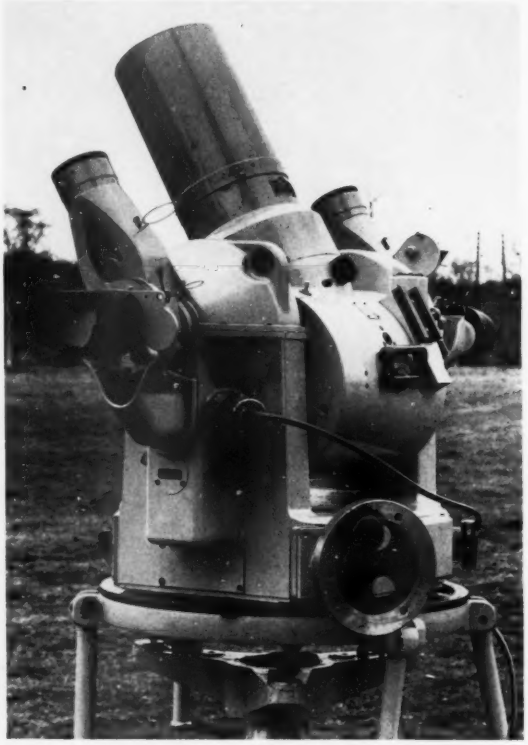


FIGURA 4 – *Un cineteodolito.*

sólo si se concentra la potencia radiada en un haz estrecho, lo que se traduce en un sistema de antenas grande y en un campo visual pequeño. Así, a no ser que se conozca la órbita con bastante aproximación, no es fácil asegurarse de que el haz se dirige a la parte del cielo en el momento preciso. El gran radiotelescopio en Jodrell Bank (Mánchester) [5], entre otros [6], ha sido utilizado con este fin; ese método tiene las ventajas de ser independiente de los instrumentos a bordo del satélite y de las condiciones atmosféricas locales.

TECNICAS OPTICAS

Sin embargo, las observaciones ópticas han representado el papel más importante para determinar las órbitas precisas de aquellos satélites que han resultado visibles. El «Sputnik 3» y su cohete, por ejemplo, son visibles fácilmente a simple vista, y para aquellos familiarizados con él, el «Sputnik 2» resultaba un viejo amigo durante su viaje de seis meses por el firmamento. Se utilizan muchos métodos, que varían desde las observaciones a ojo desnudo con un cronómetro, hasta las refinadas técnicas telescópicas y fotográficas. Los primeros son muy valiosos para la

predicción, puesto que no se necesita un proceso largo de reducción de datos; de esta forma es posible predecir con bastante certeza la posición probable del satélite en tránsitos futuros, servicio que es de mucha ayuda para preparar las observaciones con instrumentos más precisos.

Entre los últimos debe incluirse el cineteodolito, que ha dado resultados excelentes para el segundo y tercer satélites rusos. Este instrumento óptico (Fig. 4) está manejado por dos operadores, uno que sigue el satélite en acimut y el otro en elevación. Una cámara fotográfica interna de flash fotografía periódicamente las escalas, registrándose así los ángulos de elevación y acimut; al mismo tiempo se fotografía el satélite mediante una lente de larga distancia focal montada en el cineteodolito. El objeto de ésta es controlar los posibles errores en la observación: el desplazamiento de la imagen del satélite en la placa permite efectuar correcciones en los ángulos de acimut y elevación registrados. Los disparos se efectúan por medio de un instrumento muy preciso a un ritmo de unos cinco por segundo, de tal forma que durante el curso de un tránsito pueden registrarse varios centenares de lecturas. Se han utilizado estos aparatos con gran profusión en varias estaciones del *Ministry of Supply* inglés para determinar una órbita precisa del «Sputnik 2»; en condiciones favorables se consiguió una precisión de 20 segundos de arco, con un error en tiempo de menos de 20 milisegundos.

Todos estos métodos descritos dan el desplazamiento o dirección del satélite visto desde un punto de la superficie terrestre — generalmente una de las estaciones de observación —, punto que gira con la Tierra. Pero el movimiento diario de la Tierra no influye en el progreso del satélite: éste viene determinado por la atracción gravitatoria, dirigida (en primera aproximación) hacia el centro de la Tierra, de tal forma que la descripción más simple de la órbita ha de encontrarse en un sistema de referencia no giratorio, con origen en el centro de la Tierra.

El traslado de información desde coordenadas topocéntricas a geocéntricas es un poco complicado y se lleva a cabo en la mejor forma mediante un computador digital, que puede también ser utilizado para hacer mínimos los efectos de los errores observacionales. Un programa construído por R. H. Merson [7] para este fin realiza el cálculo muy simplemente: por ejemplo, a partir de datos cineteodolíticos, el aparato computa los mejores valores de los elementos orbitales: el tamaño y forma de la elipse (pues la órbita es aproximadamente elíptica) y su orientación en el espacio.

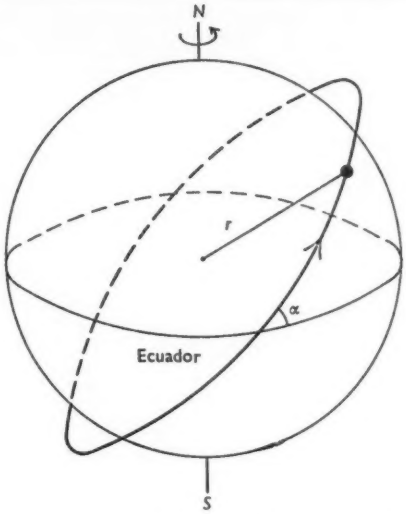


FIGURA 5 – *Inclinación del plano orbital.*

PERTURBACIONES ORBITALES

Los satélites que giran actualmente alrededor de la Tierra llevan un gran número de instrumentos para estudiar las varias condiciones físicas encontradas en el espacio, y dispositivos para retransmitirlas a la Tierra. Comparada con la abundancia de información recogida de esta forma, el interés de los datos obtenidos de la observación de su trayectoria parece muy escaso. Ese sería el caso si la Tierra fuera completamente esférica y sin atmósfera: entonces tendría poco interés obtener órbitas precisas de los satélites cercanos a la Tierra. Aparte de perturbaciones muy pequeñas debidas al Sol y a otros cuerpos en el sistema solar, la órbita sería una elipse con un foco en el centro de la Tierra (Fig. 5), además la elipse mantendría una orientación constante en el espacio. Sin embargo, la presencia de la atmósfera y el pequeño achatamiento de la superficie terrestre en los polos producen desviaciones de este simple estado de cosas, desviaciones que, medidas con bastante precisión, pueden aclarar los fenómenos que las producen. Afortunadamente, los efectos de la resistencia atmosférica y el achatamiento de la Tierra son bastante diferentes (al menos en primera aproximación), así que cada efecto puede ser referido sin ambigüedad a su causa.

La distribución no uniforme de masas en la Tierra tiene como resultado un campo gravitatorio

que no es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia radial. El potencial gravitatorio exterior puede expresarse como una serie de armónicos esféricos [8], en que el coeficiente de cada armónico depende de la forma y distribución de masa de la Tierra; si se pueden determinar esos coeficientes, es entonces posible deducir la figura de la Tierra.

INFLUENCIA DEL ACHATAMIENTO DE LA TIERRA

Los efectos de una fuerza no central semejante sobre la órbita de un satélite cercano a la Tierra han sido estudiados teóricamente [9], suponiendo que la Tierra es un elipsoide con un campo gravitatorio independiente de la longitud geográfica y simétrico respecto al plano ecuatorial. Se encuentra que el plano orbital, en vez de permanecer en una dirección fija, gira lentamente alrededor del eje de la Tierra. Esta precesión, que es de dirección opuesta al movimiento del satélite, es desde luego diferente de la precesión aparente observada desde la superficie de la Tierra y debida a la rotación de ésta. La expresión de la velocidad de precesión es bastante larga, pero una buena aproximación es

$$\mathcal{J}\sqrt{(g/R)}\ (R/\bar{r})^{7/2} \cos \alpha$$

donde g es la intensidad de la gravedad en el ecuador, R el radio ecuatorial de la Tierra, $\bar{r}$ la media armónica de la distancia del satélite al centro de la Tierra y α la inclinación de la órbita respecto al plano ecuatorial. $\mathcal{J}$ es un coeficiente asociado con el segundo armónico en la expansión de la gravedad y es una medida del achatamiento de la Tierra.

También ocurre una variación secular en la orientación de la elipse en el plano orbital; el eje mayor gira con una velocidad dada por

$$\tfrac{1}{2}\mathcal{J}\sqrt{(g/R)}(R/\bar{r})^{7/2}(5 \cos^2 \alpha - 1)$$

La velocidad de rotación depende pues de la inclinación orbital: tiene la misma dirección que el movimiento del satélite si α es menor de 63,4°, y la dirección opuesta para ángulos mayores.

Aparte de los efectos seculares existen desviaciones periódicas de la órbita elíptica. La mayor de estas perturbaciones tiene un período igual al semiperíodo orbital del satélite y una amplitud

$$(\mathcal{J}R^2/6\bar{r}) \operatorname{sen}^2 \alpha$$

Los tres primeros satélites rusos tenían una inclinación orbital de cerca de 65°, de tal forma que la rotación del eje mayor fue muy lenta y difícil de medir, mientras que los cambios periódicos en distancia radial fueron solamente de uno o dos

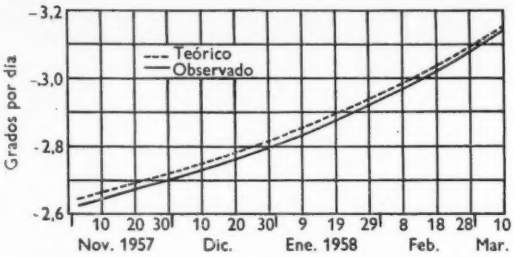


FIGURA 6 – *Velocidad de rotación del plano orbital de «Sputnik 2».*

kilómetros. Puede sin embargo hallarse la velocidad media de rotación del plano orbital a partir de observaciones sobre un período largo, lo cual ofrece mejor esperanza de correlar la teoría y la observación.

En la Fig. 6 se comparan las velocidades de precesión teórica y observada del «Sputnik 2». La línea a trazos está obtenida teóricamente, utilizando los valores medidos de $\bar{r}$ y α y los valores aceptados para las constantes geofísicas. Ambas curvas están sujetas a error: la primera en los valores medidos de α y $\bar{r}$, y la segunda en la velocidad observada; pero la diferencia que aparece en la figura es significativa. La velocidad observada sugiere un valor para la elipticidad de la Tierra más bajo del aceptado actualmente. Sin embargo, la discrepancia puede ser debida a otros factores, tales como la resistencia atmosférica o la asimetría del campo gravitatorio.

EFECTOS ATMOSFERICOS

El campo gravitatorio no central no altera la forma general de la elipse, aparte de producir una pequeña perturbación radial, sino simplemente su orientación en el espacio; la excentricidad y el eje mayor no están afectados, y el perigeo y el apogeo permanecen a distancias constantes del centro de la Tierra. El efecto de la atmósfera es precisamente el opuesto: el resultado más importante de

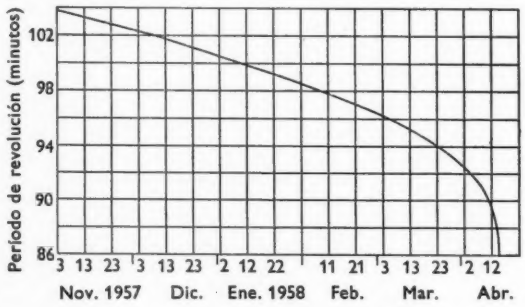


FIGURA 7 – *Período de revolución de «Sputnik 2».*

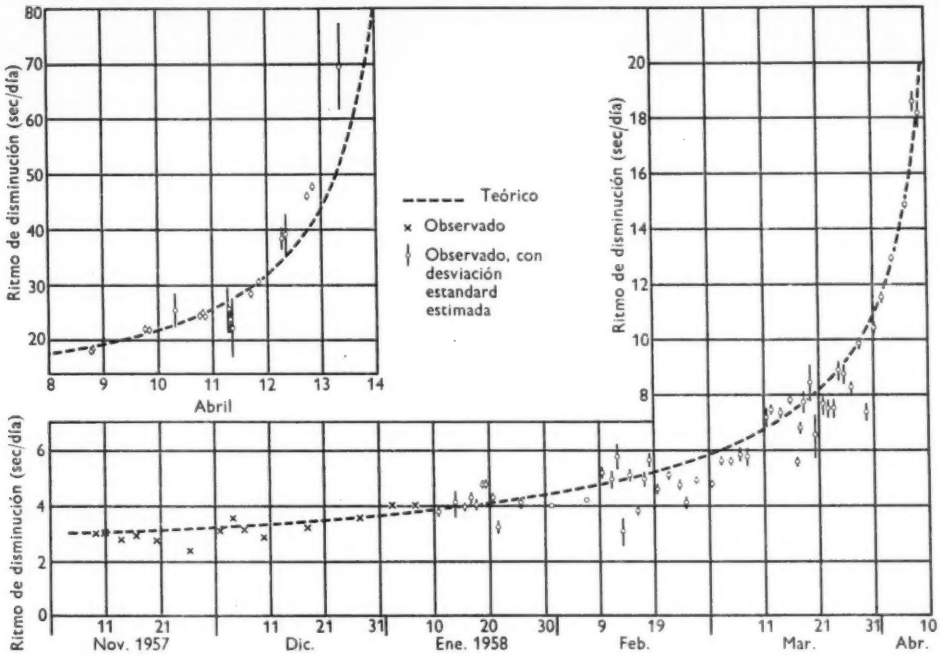


FIGURA 8 – *Ritmo de cambio del período de «Sputnik 2».*

la resistencia del aire es deformar la elipse, con una influencia muy pequeña en la rotación del plano orbital o en la orientación de la elipse en dicho plano.

Para una órbita excéntrica, el retardo debido a la resistencia atmosférica varía durante una revolución. Las alturas en el perigeo de los tres satélites rusos eran de unos 225 km, con apogeos de 900 a 1900 km; y, puesto que la densidad del aire decrece exponencialmente con la altura, para esos satélites la resistencia en el perigeo era mucho más grande que en el apogeo. El retardo en el perigeo origina una pérdida de altura en el apogeo siguiente, la órbita se hace pues menos excéntrica, pero la variación de la altura del perigeo es pequeña. Cuando la órbita se hace circular, o casi circular, la resistencia es muy aproximadamente constante, dándose entonces condiciones muy diferentes: el satélite empieza a descender en espiral, despacio al principio y después con una velocidad creciente hasta que se consume en la atmósfera inferior.

Los signos exteriores de estos fenómenos son una disminución del período orbital y un aumento en la velocidad del satélite, característica extraña a primera vista, hasta que recordamos que el satélite sufre una pérdida de altura y, por consiguiente, de energía potencial. Esta pérdida es mayor que el incremento en energía cinética, así que existe una pérdida neta de energía: la que se utiliza en vencer la resistencia del aire.

En la Fig. 7 se muestra el cambio en el período orbital durante la duración del «Sputnik 2»; el período disminuye con un ritmo creciente por la mayor resistencia del aire a alturas inferiores. Es evidente que la velocidad de disminución está relacionada con la resistencia del aire, que a su vez depende de la densidad de éste y de la forma, tamaño y masa del satélite.

Esta relación se deriva muy simplemente para el caso de una órbita circular. Puesto que la intensidad de la gravedad a una distancia r del centro de la Tierra (considerada esférica y uniforme de radio R) es gR^2/r^2, la velocidad v correspondiente a una órbita circular a esta distancia viene dada por $v^2/r = gR^2/r^2$, de tal forma que si la altura disminuye en una cantidad pequeña (Δr) durante una revolución, el incremento de energía cinética es

$$\tfrac{1}{2}mgR^2\left(\frac{1}{r+\Delta r}-\frac{1}{r}\right) \simeq \tfrac{1}{2}mv^2\frac{\Delta r}{r}$$

donde m es la masa del satélite. La pérdida de energía potencial es $mgR^2\Delta r/r^2 = mv^2\Delta r/r$ que es precisamente el doble de la ganancia de energía cinética. La diferencia de ambas debe ser

igual al trabajo efectuado contra la resistencia F durante una revolución $\frac{1}{2}mv^2\Delta r/r = 2\pi rF$. Podemos expresar la resistencia F mediante $F = \frac{1}{2}\rho v^2 SC_D$ donde ρ es la densidad del aire, S el area normal a la trayectoria y C_D el coeficiente de resistencia. Entonces $\Delta r/r = 2\pi r\rho SC_D/m$. El cambio de radio puede ser expresado en función de la disminución del período orbital T si observamos que

$$T = 2\pi r/v = 2\pi r^{3/2}/R\sqrt{g}$$

de donde $\Delta r/r = \frac{2}{3}\Delta T/T$. El cambio relativo en el período orbital puede ser medido con mucha precisión, de tal forma que, si se conoce SC_D/m, es posible obtener la densidad ρ a la altura $r - R$.

Puede extenderse este análisis al caso de órbitas no circulares [10], obteniéndose en principio una medida continua de la densidad del aire; pero para un contorno no esférico es muy difícil estimar el área efectiva S a causa del cambio de postura. A densidades tan bajas no existe virtualmente amortiguamiento aerodinámico, de tal forma que los movimientos de cabeceo, balanceo y derrape, una vez adquiridos, tienden a persistir. Este comportamiento errático del período orbital aparece bien ilustrado en la Fig. 8, que muestra la velocidad de cambio de período del «Sputnik 2». Este satélite era aproximadamente cilíndrico y los cambios notables de su brillo observados en la mayoría de sus tránsitos sugieren que en efecto ocurrieron variaciones en su orientación. La irregularidad del período puede, desde luego, reflejar parcialmente fluctuaciones de la densidad atmosférica; pero no pueden excluirse otras perturbaciones — fuerzas magnéticas o electrostáticas, por ejemplo, o bombardeo por meteoritos —, y son necesarias observaciones sistemáticas de muchos satélites si ha de explicarse satisfactoriamente el fenómeno.

El efecto cumulativo de la resistencia del aire conduce finalmente a la desaparición de un satélite. Puede estimarse su duración a partir del cambio en el período orbital [10], aunque la predicción es también un poco incierta, por las razones que acabamos de dar.

FENOMENOS IONOSFERICOS

La propagación de ondas electromagnéticas en la ionosfera constituye otro campo de investigación para la que son muy deseables datos orbitales. Se ha dedicado una atención considerable a los fenómenos ionosféricos, pero hasta el lanzamiento del primer satélite terrestre no fue posible estudiar la transmisión de ondas desde el exterior o desde dentro de las capas ionizadas. Existe ahora una gran cantidad de datos que esperan análisis, pero ya es evidente que las trayectorias de propagación de las señales pueden ser extraordinariamente complicadas. El valor de tales datos aumenta enormemente si se conoce con precisión la posición del transmisor respecto a las estaciones de observación, pues entonces una comparación de la dirección real con la aparente obtenida de las señales de radio indica la magnitud de la desviación de las señales en la ionosfera. Esta desviación depende de la frecuencia utilizada y del ángulo de elevación, siendo mínima para tránsitos por la vertical y máxima para elevaciones bajas. Una serie de observaciones a frecuencias y elevaciones diferentes, junto con las direcciones reales, facilitará información valiosa acerca de la estructura de la ionosfera.

CONCLUSION

Los varios métodos de observación de que hemos tratado son complementarios y no contradictorios. Cada método tiene sus ventajas — el campo amplio de visión de los métodos de radio, la autosuficiencia del sistema de radar, la inmunidad de las observaciones ópticas respecto a las extravagancias de la ionosfera — y todos son necesarios para facilitar una descripción clara del comportamiento del satélite y para aumentar nuestro conocimiento de la Tierra y de lo que la rodea.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis colegas Mr. A. N. Beresford y Mr. W. T. Blackband, que han facilitado gran cantidad del datos sobre los métodos de radio, y a Mr. D. G. King-Hele y Mr. R. H. Merson por sus trabajos teóricos y prácticos sobre las perturbaciones orbitales.

REFERENCIAS

[1] HAMPTON, D. E. *Proc. Instn Elec. Engrs.*, *B*, **105**, 99, 1958.

[2] BERESFORD, A. N. *Ibid.*, *B*, **105**, 85, 1958.

[3] Personal del Mullard Radio Astronomy Observatory, Cambridge. *Nature, Lond.*, **180**, 879, 1957.

[4] Personal del Royal Aircraft Establishment, Farnborough. *Ibid.*, **180**, 937, 1957.

[5] DAVIS, J., EVANS, J. V., EVANS, S., GREENHOW, J. S. y HALL, J. E. *Proc. Instn Elec. Engrs.*, *B*, **105**, 105, 1958.

[6] HEY, J. S. *Ibid.*, *B*, **105**, 107, 1958.

[7] KING-HELE, D. G. y MERSON, R. H. *J. Brit. Interplan. Soc.*, 1958. (En prensa.)

[8] JEFFREYS, H. *The Earth* (3ª edición), Cap. 4. Cambridge University Press, Londres. 1952.

[9] KING-HELE, D. G. *Proc. roy. Soc.*, 1958. (En prensa.)

[10] KING-HELE, D. G. y LESLIE, D. C. M. *Nature, Lond.*, **181**, 1761, 1958.

Revista de libros

ASTRONOMIA

SCHATZMAN, E.: *White Dwarfs.* VIII + 180 págs. North-Holland Publishing Co., Amsterdam. 1958. Fl. 19.

Las estrellas denominadas «enanas blancas» — de gran interés — son astros de luminosidad intrínseca muy baja, temperatura superficial bastante elevada, pequeño tamaño y enorme densidad media. Debido a su baja luminosidad, todas las conocidas (unas 250) son bastante cercanas, aunque sólo se ha determinado con precisión la distancia de unas 30.

Su gran interés resulta de la materia que las compone, que no obedece a las leyes de los gases perfectos, debido a su elevadísima densidad: recibe el nombre de «materia degenerada». Esto conduce a problemas de gran interés teórico, de los que trata plenamente esta monografía. Necesariamente, dicho tratamiento es de alto nivel matemático.

Parece que en el interior de una enana blanca el hidrógeno no puede existir y el contenido de helio es muy bajo. El núcleo interno consiste casi exclusivamente de elementos pesados, con una envoltura muy delgada formada probablemente de hidrógeno puro. La energía generada por las reacciones termonucleares debe ser muy pequeña. La generación de dicha energía por el ciclo del hidrógeno en la superficie de la estrella puede producir inestabilidad vibracional, resultando en explosiones sucesivas acompañadas de la eyección de delgados proyectiles gaseosos. Sin embargo, la vida de una enana blanca es muy larga: del orden de 10^{11} años.

Es incierto el origen de estos astros. Es posible que estrellas de masa mayor que la de nuestro Sol se conviertan en enanas blancas después de haber perdido parte de su masa. Es también posible que algunas enanas blancas se hayan desarrollado a partir de novas que han sufrido gran número de explosiones sucesivas. Es, sin embargo, muy improbable que sean una fase normal de la evolución estelar. Cierto número de estrellas binarias y múltiples contienen una enana blanca junto con una o más estrellas normales; las enanas blancas también se hallan presentes en ciertos enjambres relativamente jóvenes de estrellas.

Los datos de que disponemos sobre las enanas blancas, tanto teóricos como observacionales, aparecen resumidos y estudiados en esta monografía y de ellos se deduce claramente cuán incompleto es nuestro conocimiento sobre la naturaleza y evolución de estas estrellas.

H. SPENCER JONES

HANBURY BROWN, R. y LOVELL, A. C. B.: *The Exploration of Space by Radio.* XII + 207 págs. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 35s.

El Profesor Lovell es el Director de la Estación Experimental de Jodrell Bank y a él se debe principalmente la construcción del telescopio gigante (77 m) para radio-observaciones que acaba de ponerse en funcionamiento. Al escribir este libro en colaboración con Hanbury Brown parecen haberse propuesto suministrar al lector todos los conocimientos de radio-astronomía necesarios para comprender las futuras funciones de ese telescopio. Este volumen es tanto más valioso cuanto que ésta es una rama de la ciencia en rápido progreso y que el único texto existente, la *Radio Astronomy* de Pawsey y Bracewell, no recoje ningún trabajo posterior a 1952.

Los once capítulos tratan de las nociones astronómicas fundamentales, propiedades de las ondas hertzianas, técnicas empleadas en la radio-astronomía, radio-emisiones galácticas y extragalácticas, la línea de hidrógeno, la escintilación de las radio-estrellas, las ondas hertzianas solares, los meteoros, el estudio por radio de la aurora boreal, las investigaciones por radio en la Luna, los planetas y satélites, y el telescopio de Jodrell Bank. Como es natural, los temas más estudiados por el equipo de Mánchester son los que mayor atención reciben en este libro, por ejemplo los meteoros.

No se trata de una obra para un lector profano; se necesitan ciertos conocimientos de física. Hubiera sido quizás conveniente incluir más referencias y aclaraciones sobre técnicas tales como la de la «correlación post-deteccional». A veces se introducen nociones como las de «profundidad óptica» sin la necesaria explicación, pero a pesar de la inevitable condensación en una obra de este tipo, éste es un lúcido estudio de la radio-astronomía.

J. R. SHAKESHAFT

FISICA

Molecular Physics. Vol. I, No. I, 98 págs. Taylor and Francis Ltd., Londres. 1958. 25s. cada parte; £4 15s. suscripción a un volumen.

Molecular Physics es una nueva revista internacional que se propone publicar trabajos sobre los diversos aspectos de la física molecular, procedentes de todas las partes del mundo. El carácter verdaderamente internacional de la revista está reflejado en la composición de su consejo de redacción, en el que están representados doce países; los idiomas usados serán el alemán, francés e inglés.

El primer número (Enero 1958) establece un elevado nivel e incluye trabajos sobre la resonancia magnética nuclear, los momentos dipolos, los espectros rotacionales, la opalescencia crítica en las soluciones sólidas. Además, hay un número de estudios teóricos sobre la distribución electrónica en el hidrógeno molecular y la aplicación de la teoría general de los procesos irreversibles de Prigogine a los sistemas de la mecánica quántica, y sobre la mecánica estadística. La impresión y presentación son excelentes.

R. E. RICHARDS

SERIES, G. W.: *The Spectrum of Atomic Hydrogen.* VIII + 88 págs. Oxford University Press, Londres. 1957. 8s. 6d.

A lo largo de la historia de la teoría quántica, el átomo de hidrógeno y su espectro han representado un papel muy importante. Al irse desarrollando dicha teoría, las aplicaciones que se hacían al hidrógeno revelaban discrepancias respecto a la experimentación, de las que se derivaban nuevos progresos teóricos. Este libro nos ofrece un claro estudio de las sucesivas fases de la teoría y su comparación con el presente conocimiento experimental. Esta obra debe considerarse más bien como un suplemento de otros textos de mecánica quántica, a los que no viene a sustituir.

De mayor interés son los capítulos sobre los experimentos de Lamb y Rutherford y sobre la nueva electrodinámica quántica, capítulos que merecen ser leídos por numerosos investigadores que no pueden mantenerse al día respecto a los progresos reseñados en las revistas.

El título del libro no da clara indicación de su contenido, ya que el lector se formará una idea unilateral de la importancia del espectro del hidrógeno atómico en la moderna

investigación científica. No se mencionan los aspectos astrofísicos del tema, aunque la detección e interpretación de la radiación de radiofrecuencia del hidrógeno atómico cósmico tiene importancia capital.

Felicitamos a los editores de tan excelente obra, publicada a un precio tan razonable. R. H. GARSTANG

Annual Review of Nuclear Science, Vol. VII. Dirigida por J. G. Beckerley. v+496 págs. Annual Reviews Inc., California. 1957. $7.

Este volumen continúa la política editorial establecida hace cuatro años de informar a los especialistas sobre los progresos en otras ramas, en la suposición de que todo investigador «desea equiparse con un conocimiento mínimo de los principios fundamentales de otras ramas». Este investigador, después de haberse beneficiado de un espléndido si bien a veces excesivamente teórico estudio de las partículas elementales, abre las páginas dedicadas a la radiobiología de los vertebrados (Acciones letales y efectos asociados) para descubrir que ni la física ni su propio sentido de la responsabilidad social le permiten pasar de la primera página. El mínimo conocimiento de los principios fundamentales va en este caso mucho más allá del nivel universitario.

¿Cuál es, por tanto, el verdadero propósito de esta serie? La respuesta — paradójica — es que su éxito se basa en que pone al día al especialista en su propio terreno, extendiendo ligeramente su horizonte de modo que en él se incluya, por lo menos, parte del campo de sus vecinos. Así, nosotros, hallamos que un trabajo caía plenamente dentro de nuestra especialidad, dos nos resultaron sumamente beneficiosos, tres despertaron nuestro interés — los seis eran, evidentemente excelentes artículos —; pero no pudimos pasar del primer párrafo de los seis restantes. Lo cual puede parecer no poco, pero cuando a uno no le sobra ni el dinero y lugar en las estanterías, ¿por qué habrá de comprar páginas que no podrá comprender nunca y que además quedarán totalmente atrasadas dentro de pocos años? L. R. B. ELTON

WOOSTER, W. A.: *Experimental Crystal Physics*. VIII+115 págs. Clarendon Press, Oxford. 1957. 18s.

La mayoría de los libros sobre las propiedades físicas de los cristales tratan principalmente de las teorías. Este, que se basa en el curso que se da en el Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Cambridge trata en especial de los trabajos de laboratorio. Los experimentos se proponen ilustrar de una manera general los principios, sin perseguir una gran exactitud, y están condicionados a ciertas consideraciones prácticas: obtenibilidad de los cristales y rapidez de los experimentos. Cada tema recibe un tratamiento general, seguido de la descripción detallada de los aparatos y de los ejemplos del cálculo de las cantidades deseadas. La sección más extensa de las constantes ópticas de substancias transparentes y opacas. Las propiedades diamagnéticas y paramagnéticas, conductividad térmica y expansión térmica, piezo-electricidad y piro-electricidad y elasticidad aparecen indicadas como medidas de constantes o como resultado de demostraciones cualitativas. Este libro es una muy útil introducción práctica a estos estudios.

H. M. POWELL

QUIMICA

GRIFFITH, R. H. y MARSH, J. D. F.: *Contact Catalysis* (3ª edición). x+299 págs. Oxford University Press, Londres. 1957. 50s.

Esta es la tercera edición, redactada de nuevo y aumentada, de la obra de Griffith, *The Mechanism of Contact Catalysis*, y presenta en un espacio bastante reducido gran cantidad de información sobre la catálisis de adsorción y contacto, delineando además las modernas teorías e incluyendo la importancia de los defectos de la red, el factor electrónico subrayado por Dowden, y la correspondencia geométrica entre las moléculas adsorbidas y la superficie catalítica. También contiene mucha información de valor práctico sobre la preparación de los catalizadores. La bibliografía es excelente y el lector no hallará dificultad alguna en seguir cualquier tema, ya sea teórico o práctico.

Aunque se trata de una verdadera mina de información, el libro no es de fácil lectura seguida, ya que se compone de una serie de resúmenes analíticos de trabajos experimentales y teóricos. Los razonamientos están a veces excesivamente condensados y no fluyen con facilidad de una sección a la siguiente; la ordenación del material parece un poco apresurada, existiendo algunas duplicaciones en los distintos capítulos. Este libro es probablemente el mejor estudio general, aunque también detallado, que existe en esta rama de gran complejidad, y ha de ser de gran utilidad tanto para los químicos teóricos como para los industriales. N. K. ADAM

CHARLOT, G. y BÉZIER, Denise: *Quantitative Inorganic Analysis* (traducido al inglés de la tercera edición francesa por R. C. Murray). x+691 págs. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., Nueva York. 1957. 84s.

Cuando el libro de Charlot y Bézier apareció por vez primera en 1944 ofrecía muchas novedades. La tercera edición, que es la traducida en este volumen, es un estudio general de todos los métodos utilizados en el análisis cuantitativo. En la primera parte (322 páginas), se trata de los diversos enfoques, subrayando los distintos tipos de reacciones y los principios teóricos fundamentales. La segunda parte (316 páginas) estudia sucesivamente la determinación de cada elemento, haciéndose uso de métodos cuidadosamente escogidos, sin pretender presentarlos todos. Las 46 páginas finales incluyen datos numéricos, bibliografías e índices.

Es el claro propósito de los autores no competir con textos ya existentes que presentan procedimientos detallados de determinaciones cuantitativas. Sin embargo, es lástima que aunque el libro contiene una mina de información sobre otros aspectos del análisis, a veces de manera novel y siempre interesante, el tratamiento carece inevitablemente de detalle y resulta en ocasiones desequilibrado. Así, la cromatografía, con todos sus aspectos, sólo recibe 7 páginas, la espectrografía de emisión y los usos de la radiactividad 5 cada uno, la determinación de indicios sólo 3, y las técnicas de muestreo únicamente 1.

A pesar de sus defectos, éste es un libro que debe interesar y estimular a profesores y estudiantes, admirable para presentar la amplia gama y variedad de métodos de que dispone el análisis cuantitativo moderno. H. IRVING

KOLTHOFF, I. M. y BELCHER, R. (con la cooperación de V. A. Stenger y G. Matsuyama): *Volumetric Analysis*. Vol. III — *Titration Methods: Oxidation-Reduction Reactions*. IX+714 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1957. $15.

Con la publicación de este tercer volumen queda completa la obra iniciada en 1942 por el Profesor Kolthoff.

El primer volumen trata de los principios teóricos fundamentales; el segundo (1947) de las reacciones ácido-base, de precipitación y de formación de complejos. Este se dedica enteramente a las reacciones de oxidación-reducción.

En el Prefacio, el Profesor Kolthoff señala que el Dr. Stenger, su colaborador en los dos primeros volúmenes, y el Dr. Matsuyama no pudieron continuar su colaboración. La obra ha sido terminada con la ayuda del Dr. Belcher.

Después de un capítulo introductorio general siguen otros tres sobre el permanganato, el sulfato cérico, el dicromato potásico, la yodometría aplicada a las determinaciones orgánicas e inorgánicas, la determinación de Karl Fischer, el yodato potásico, el peryodato, el bromato potásico y los hipohalitos. Los dos capítulos últimos tratan de varios agentes reductores fuertes: sales ferrosas, titanosas, estañosas, mercuriosas, vanadiosas y cromosas, y de una colección miscelánica de titulantes de oxidación y reducción.

Es imposible en una corta reseña indicar en más detalle la amplitud de este trabajo, pero el lector comprenderá que un volumen de más de 700 páginas dedicado exclusivamente a la titulación basada en reacciones de oxidación-reducción tiene que ser un estudio muy completo. La impresión y encuadernación son excelentes. R. C. CHIRNSIDE

FRITZ, J. S. y HAMMOND, G. S.: *Quantitative Organic Analysis.* IX + 303 págs. John Wiley & Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 52s.

Muy pocas reacciones orgánicas se desarrollan cuantitativamente, lo que plantea el frecuente problema del análisis de las mezclas de productos. Este volumen describe métodos para la valoración de los componentes individuales sin necesidad de su aislamiento previo. La mayor parte de esos métodos son nuevos y a su desarrollo han contribuído notablemente los autores de esta obra.

Aparte del Capítulo 2, que es bastante difícil, el texto es en general claro y ameno. Característica especialmente valiosa son los razonamientos que conducen a la elección de un método dado o a la adaptación de otros ya conocidos para resolver problemas nuevos. Todo un capítulo trata de esta última cuestión. Otros estudian los métodos para las titulaciones ácido-básicas en solventes no acuosos, las reacciones redox, la medición espectrofotométrica de propiedades físicas, los complejos iónicos metálicos, los aspectos cinéticos del análisis, las separaciones y el análisis elemental. Al final se incluyen ejemplos detallados de los procedimientos usados.

Aunque este libro se destina primordialmente a la enseñanza en los Estados Unidos, también será muy usado en Gran Bretaña por los investigadores y analistas que quieran conocer los últimos progresos en los métodos de análisis. JOHN F. W. McOMIE

Organic Syntheses, Vol. XXXVII. Compilada por J. Cason. VII + 109 págs. John Wiley & Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 32s.

Este es el más reciente volumen de una serie iniciada en 1921, y contiene detalladas instrucciones para la preparación de 31 compuestos orgánicos. Incluyen éstos el óxido de benzfurazano, la benzoilacetanilida, la 3-benzoilpiridina, el 2-cloronicotinonitrilo, hidrocloruro diaminouracílico, ácido *trans*-2-dodecenoico, α-nitrobutirato etílico, *n*-heptamida, ácido parabánico y *ar*-tetrahidro-α-naftol. Las síntesis más nuevas son la preparación de norbornileno en rendimientos de hasta 71% a partir de di*ciclo*pentadieno y etileno, y de pseudopeletierina a partir de 2-etoxi-3:4-dihidro-2H-pirán por hidrólisis a dialdehido glutárico y condensación con metilamina y ácido acetondicarboxílico.

Pensamos desde hace mucho tiempo que la utilidad de estos volúmenes aumentaría mediante la adición a la descripción de ciertas preparaciones de algunas indicaciones sobre sus potencialidades de sintetización. Evidentemente, esto no es necesario en el caso de compuestos que a todas luces son intermediarios generales o puntos de partida para una gran cantidad de síntesis, tales como el benzoilmalonato dietílico, benzoilacetato etílico, ácido e imida glutáricos, cloruro oleoílico y ácido estearólico, que aparecen todos descritos en este volumen. Por otra parte, sería interesante tener tales indicaciones respecto a: 2-cloro-2-metil-*ciclo*hexanona, 1-dietilamino-3-butanona, 3:4-dinitro-3-hexeno, 1:4-difenil-5-amino-1:2:3-triazol, ácido 4-etil-2-metil-2-octenóico, malonato etílico *tert.*-butílico, óxido isoforónico y dicloruro triclorometilfosforílico, que también aparecen descritos en este volumen. W. BAKER

ROCHOW, E. G., HURD, D. T. y LEWIS, R. N.: *The Chemistry of Organometallic Compounds.* VI + 344 págs. John Wiley & Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 68s.

El gran interés que hoy se manifiesta por los compuestos órganometálicos asegura el éxito de este libro, obra de conocidos investigadores. Los autores afirman que se han esforzado por presentar los aspectos teórico, factual y práctico de este tema en forma útil para el estudiante y el lector que posea un conocimiento general de química. Es evidente que han debido seleccionar los temas, pero en nuestra opinión han sabido preparar un volumen que habrá de ser de gran utilidad tanto para los estudiantes como para los investigadores que se interesen en esta rama.

El libro comienza con un estudio general de las propiedades físicas y químicas de los compuestos órganometálicos, el cual va seguido por otro que se ocupa de las propiedades generales del enlace carbono-metal. El tercer capítulo trata de los diversos métodos de preparación de los compuestos. A continuación se estudian sistemáticamente los compuestos formados con los elementos metálicos y metaloides. Son de especial interés los compuestos órganometálicos de los metales transicionales. En 1951 se descubrió la existencia de compuestos ciclopentadienílicos del hierro, lo que despertó gran interés e inició investigaciones que han resultado en extensos estudios de casi todos los metales de transición y de la mayoría de las tierras raras. Un capítulo muy interesante trata de las aplicaciones de los compuestos órganometálicos en la síntesis orgánica, incluyéndose en la sección que estudia las olefinas simples el proceso de Ziegler. El capítulo final trata de los tipos especiales de compuestos órganometálicos tales como los derivados fluorocarbónicos, los complejos olefínicos, compuestos carbonílicos y los complejos cianúricos e isonitrílicos y carburos. Aunque los hidruros no entran en la definición de compuestos órganometálicos, se mencionan también ya que la comparación entre los hidruros metálicos y los correspondientes compuestos órganometálicos revela algunas características interesantes. Con ciertas excepciones, los compuestos órganometálicos necesitan una técnica especial para su preparación, purificación y manejo. Estos datos experimentales no se incluyen en el presente volumen, pero en una breve sección

titulada «Técnicas para la manipulación de las substancias» se incluyen muy útiles consejos. Sin embargo, el método novel recomendado para la eliminación de substancias de elevada volatilidad presenta evidentes limitaciones. El texto contiene numerosas referencias a las publicaciones originales. Podemos pues felicitar a los autores por haber conseguido el objetivo propuesto de producir un texto de buena presentación, fácil lectura y alto valor estimulativo en esta rama especial de la química. W. WARDLAW

METEOROLOGIA

KENDREW, W. G.: *Climatology* (2ª edición) xv+400 págs. Clarendon Press, Oxford. 1957. 42s.

La segunda edición de este conocido texto incorpora algunos cambios menores y nuevas secciones sobre temas como el «jet stream» y el bloqueo de anticiclones, con lo que el libro resulta muy al día. La adición de un índice de lugares es muy útil, pero el de materias resulta todavía inadecuado.

En su Prefacio, el autor indica que la falta de espacio ha obligado a excluir detalles «tales como los períodos para los que se computan los valores medios de los datos climatológicos usados en el libro». Tal omisión difícilmente puede justificarse diciendo que se trata de «un punto de importancia secundaria», ya que a menos que se indique el período al que se refiere un valor medio, éste tiene un significado menor que el que se le atribuye. En especial, la comparación de los valores medios de distintas estaciones, sugerida por varios gráficos y tablas, no está justificada, a menos que tales valores se refieran a un mismo período.

Todavía persisten algunos errores. Por ejemplo: en la página 71, la temperatura «mínima mensual media» de Julio en Léopoldville y Kabete se indica en cada caso menor en 1° a la «extrema mínima abs.». Con todo, éste es un libro excelente como introducción a la moderna climatología; es mucho más que una mera colección de datos escuetos, y debiera ser leído por todo estudiante. F. G. HANNELL

BIOQUIMICA

FREY-WYSSLING, A.: *Macromolecules in Cell Structure*. VII+112 págs. Harvard University Press, Cambridge, Mass.; Oxford University Press, Londres. 1957. 40s.

La distancia entre los estudios de fisiología celular y bioquímica por un lado y la morfología por otro era muy grande, y durante mucho tiempo ha carecido de todo nexo de unión. Ahora, con la ayuda de las modernas técnicas físicas tales como la difracción de rayos X y la microscopía electrónica, se ha podido establecer ese nexo. En ello nadie ha mostrado tanta actividad como el Profesor A. Frey-Wyssling, de Zurich, que ya había realizado investigaciones en este terreno aún antes de que las modernas técnicas alcanzasen la presente fase de desarrollo, las cuales ha sabido utilizar con habilidad para probar sus anteriores hipótesis sobre la estructura en el nivel submicroscópico.

Este libro, basado en las conferencias pronunciadas en la Universidad de Harvard en 1956, presenta brevemente el desarrollo de las nociones de su autor y sirve de suplemento al estudio más extenso publicado en 1953 con el título *Submicroscopic Structure of the Cytoplasm*. La mayoría de los ejemplos están tomados del reino vegetal y son resultado de las investigaciones del autor y sus colaboradores en Zurich. Los capítulos sobre la estructura fina de los granos de almidón y de las paredes celulares van seguidos del estudio del crecimiento y diferenciación de dichas paredes. Las dos últimas conferencias recogidas en este libro tan interesante como bien ilustrado tratan de la estructura de los cloroplastos y macromoléculas del citoplasma.

R. N. ROBERTSON

Advances in Enzymology and Related Subjects of Biochemistry, Vol. XIX. (Compilado por F. F. Nord.) 457 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1957. $9,85.

Este volumen de *Advances in Enzymology* contiene cinco estudios de muy elevado nivel. Vishniac, Horecker y Ochoa describen varios sistemas enzímicos relacionados con las rutas metabólicas en las células fotosintetizantes en el trabajo titulado «Aspectos enzimáticos de la fotosíntesis». H. S. Mason, en su artículo sobre los mecanismos del metabolismo del oxígeno, presenta una monografía muy completa de más de 150 páginas en las que cita 842 referatas. Los mecanismos químicos de tres tipos de enzima estudiados son: la transferencia de oxígeno; la transferencia de electrones; las oxidasas de función mixta. El autor conoce mejor el primero y ultimo temas, tratándolos por consiguiente con mayor amplitud. Wieland y Pfleiderer presentan un buen estudio de los mecanismos de reacciones del tipo que probablemente interviene en la formación de enlaces péptidos durante la biosíntesis proteica. Kimmel y Smith, en un estudio sobre las propiedades de la papaína tratan de un tema casi exclusivamente suyo, ofreciéndonos un modelo de cómo debe desarrollarse el estudio de las propiedades físicas y químicas y de los procesos de reacción de una enzima aislada. El trabajo final de Braunstein sobre las vías principales de la asimilación y disimilación del nitrógeno en los animales es un documentado estudio de las nociones modernas sobre el metabolismo del nitrógeno. En conjunto, éste es un volumen muy valioso. H. GUTFREUND

ZOOLOGIA

TAYLOR, W. R.: *Marine Algae of the Northeastern Coast of North America* (2ª edición, revisada). VIII+509 págs. The University of Michigan Press, Ann Arbor. 1957. $12,50.

La primera edición de este libro apareció en 1937 y era entonces el único estudio completo de las algas marinas de la costa atlántica norteamericana, desde Virginia al Círculo Artico. En los años desde entonces pasados esta obra se ha convertido en un clásico de la literatura ficológica. La presente edición revisada contiene descripciones de más de 500 plantas marinas de la zona litoral y sublitoral, incluyendo algunas especies recientemente descubiertas. El texto también se ha ampliado para recoger los resultados de recientes investigaciones sobre taxonomía y nomenclatura.

El Profesor Taylor describe los primitivos trabajos en esta región y los cambios en la flora algal de una a otra latitud, e incluye consejos para su colección y conservación. En el catálogo descriptivo hay una serie de claves para los órdenes, familias, géneros y especies. También se incluye una excelente bibliografía, que ocupa 18 páginas.

Este libro es el Volumen XIII de la serie *University of Michigan Studies* (*Scientific Series*) y está magníficamente presentado. Está enteramente libre de errores y es de la alta calidad que puede esperarse de un autor tan eminente como el Profesor Taylor.

F. N. WOODWARD

Revistas resumidas de libros

(Estas revistas tienen carácter descriptivo más bien que crítico y sirven para dar una indicación general del contenido y naturaleza de las obras tratadas.)

Daedalus (Director: P. Rieff). 140 págs. American Academy of Arts and Sciences. Revista trimestral. Suscripción: $6,50 anuales.

El número de invierno (1958) de esta revista es el Volumen 87, No. 1 de los *Proceedings of the American Academy of Sciences and Arts*. En realidad, es su primera edición en un nuevo formato. Esta dedicado especialmente al tema de «la Ciencia y la visión del mundo moderno», con el propósito, que será el de los números siguientes, de relacionar entre sí las diversas secciones del ámbito de la erudición y presentar los resultados así obtenidos al público de un nivel cultural elevado.

CALLATAŸ, V. DE: *Atlas of the Sky*. 157 págs. Macmillan & Co. Ltd., Londres; St. Martin's Press, Nueva York. 1958. 65s.

Sir Harold Spencer Jones ha traducido del francés este libro, para el que también ha escrito un prefacio. El fin de la obra es ayudar al aficionado a la astronomía que no disponga de un telescopio a reconocer los astros y constelaciones. Las ilustraciones incluyen un número de planchas en las que las estrellas aparecen como puntos blancos de distinta magnitud sobre un fondo negro. También hay dibujos a línea. El texto contiene un resumen elemental de la moderna astronomía.

PRICE, W. J.: *Nuclear Radiation Detection*. VII + 382 págs. McGraw-Hill Book Co. Inc., Nueva York y Londres. 1958. 70s.

El propósito de este libro es reunir toda la información básica sobre los detectores de radiación nuclear más importantes hoy en uso. Los datos específicos sobre la aplicación de los diversos detectores pueden permitir al lector seleccionar el equipo necesario y hacer el mejor uso de él. Los aparatos descritos se pueden adquirir comercialmente, pero además el libro describe los principios sobre los que se basan los instrumentos, de modo que el futuro usuario pueda diseñar el tipo que le interese.

PIRIE, B. J. M. (Compilador): *The Scaling-up of Chemical Plant and Processes*. 136 págs. The Institution of Chemical Engineers, Londres. 1958. 60s.

Recoje las memorias de un simposio celebrado en Londres en 1957 y patrocinado por un grupo formado por el equipo de ingeniería química de la *Koninklijk Instituut van Ingenieurs*, la sección de tecnología química de la *Nederlandse Chemisch Vereniging* y la *Institution of Chemical Engineers*. El tema está tratado desde un punto de vista general y en detalle, con un total de trece trabajos, que tratan, entre otras cosas, del uso de la cinética, los aspectos económicos de la proyección en gran escala de aparatos y procesos químicos.

MEGSON, N. J. L.: *Phenolic Resin Chemistry*. VII + 323 págs. Butterworth's Scientific Publications, Londres; Academic Press, Inc., Nueva York. 1958. 65s.

Este libro trata de los aspectos químicos, a diferencia de los tecnológicos, de las resinas fenólicas, limitándose principalmente a las que contienen formaldehido y refiriéndose en detalle sólo a los progresos realizados desde 1939. Hay capítulos sobre los alcoholes fenólicos, las condensaciones amoniacales y las afines de fenoles y formaldehido, las síntesis racionales, las velocidades de reacción, entre otras cuestiones. El propósito del autor ha sido realizar un detallado estudio, y sus referencias se refieren a una literatura muy amplia, incluyendo obras en lenguajes poco utilizados, como el japonés.

Population Studies: Animal Ecology and Demography. XIV + 437 págs. Biological Laboratory, Cold Spring Harbor, Nueva York. 1957. $8.

Es el Volumen XXII de la serie de Memorias de los simposios organizados en Cold Spring Harbor sobre biología cuantitativa. Además de los discursos inaugurales y de clausura, contiene 33 trabajos sobre el estudio histórico de las poblaciones humanas, la teoría demográfica, el estudio teorético y experimental de las poblaciones animales, el crecimiento de las poblaciones humanas y otros temas relacionados con las comunidades y poblaciones. Se incluyen también bibliografías.

ALSTON, J. M. y BROOM, J. C.: *Leptospirosis in Man and Animals*. XII + 367 págs. E. & S. Livingstone Ltd., Edimburgo y Londres. 1958. 40s.

Los autores de este libro se proponen presentar una visión general de los actuales conocimientos sobre las leptospiras y las enfermedades humanas y animales que causan, así como sobre las posibles direcciones de investigación en el futuro. Se estudia la creciente frecuencia con que aparecen esas enfermedades en determinados lugares y sobre los nuevos serotipos. Se ha incluído además un capítulo sobre las cuestiones jurídicas que plantea la leptospiriosis, del que es autor C. J. A. Doughty, con objeto de hacer más completo el estudio de esta materia.

WHEELER, E. L.: *Scientific Glassblowing*. XXII + 478 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1958. $9,75.

El moderno soplador de vidrio debe llegar a ser un colaborador del investigador químico, y este libro se propone suministrarle la información necesaria para alcanzar dicho nivel. Escrito por un soplador, describe las técnicas que se usan en Norteamérica y contiene instrucciones que comienzan con simples juntas y terminan con complicados aparatos de vacío y destilación. También contiene capítulos sobre las técnicas modernas, tales como la cromatografía, extracción y destilación, que, a juicio del autor, suponen conocimientos fundamentales necesarios del soplador profesional.

MARRACK, J. R. (Director): *Immunology*, Vol. 1, No. 1. III + 87 págs. Publicado trimestralmente por Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1958. 18s. el ejemplar; suscripción anual, 60s.

Revista oficial de la *British Society of Immunology*, cuyo primer número contiene siete trabajos sobre temas relacionados con la inmunidad: tres sobre homoinjertos de piel, y el resto sobre los anticuerpos, propiedades y usos. El editorial señala que la inmunología cubre un campo mucho más amplio, pues en realidad sus límites no están bien definidos, y anuncia estudios sobre aspectos más generales y otros más especializados, como el de la inmunidad a las lesiones, tema sobre el que actualmente se realizan importantes estudios.

Notas sobre los colaboradores

V. V. BELOUSSOV

Nació en 1907. Es Miembro Correspondiente de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S. y Presidente del Comité de Geodesia y Geofísica de la Academia Soviética. Se ha especializado en el campo de la tectónica y, en particular, en el estudio de la historia de los movimientos ondulatorios del núcleo terrestre y el desarrollo geológico de las cadenas caucásicas. Los principales resultados de su trabajo están recogidos en sus obras Общая Тектоника (Tectónica General), Moscú 1948. Es también autor de Очерки Геохимии природных Газов (Ensayos sobre la Geoquímica de los Gases Naturales), Leningrado, 1937, y Большой Кавказ (El Gran Cáucaso), Leningrado, 1938–40.

M. F. PERUTZ

Estudió en las Universidades de Viena y Cambridge y es Director de la Sección de Biología Molecular del *Medical Research Council* en el Laboratorio Cavendish. Es asimismo Profesor en el Laboratorio de Investigaciones Davy Faraday en la *Royal Institution* en Londres. Sus principales estudios se refieren a la cristalografía por rayos X y, en especial, a la estructura de la hemoglobina y las propiedades físicas y químicas de los cristales de proteínas. También ha realizado algunas investigaciones sobre los glaciares.

H. P. BROIDA

Nació en Aurora, Colorado, en 1920 y estudió en las Universidades de Colorado y Harvard. Después de ejercer la enseñanza en Wesleyan y Harvard, ingresó en 1949 en el *National Bureau of Standards*, donde ha realizado investigaciones sobre la espectroscopia de las llamas, la cinética química, los espectros diatómicos, el análisis isotópico, los instrumentos médicos y, más recientemente, como extensión de su trabajo sobre las llamas, sobre la producción y estabilización de radicales libres. En 1952–53 estuvo en el *Imperial College* de Londres como detentor del *Guggenheim Fellowship*.

ANTOINETTE PIRIE

Nació en Londres en 1905 y estudió en el *Newnham College*, Cambridge. Trabajó en el Laboratorio de bioquímica de la Universidad de Cambridge bajo la dirección del Profesor Sir F. G. Hopkins hasta 1940, fecha en que se trasladó a Londres y después a Oxford para trabajar sobre la bioquímica del ojo. En la actualidad es profesora de oftalmología en la Universidad de Oxford. Sus investigaciones se refieren a los cambios bioquímicos que inician los procesos de formación de la cataratas, y la relación entre la bioquímica oftalmológica y las funciones de las distintas partes del ojo. En colaboración con la Dra. Ruth van Heyningen ha escrito *The Biochemistry of the Eye*.

WŁODZIMIERZ HUBICKI

Nació en Boryslaw en 1914 y estudió en la Universidad de Cracovia. En 1938 fue nombrado ayudante de investigaciones de química inorgánica en esa Universidad. Durante la guerra ejerció la enseñanza en la Escuela Técnica de Cracovia. Desde 1947 es catedrático de química inorgánica de la Universidad Marie Curie-Skłodowska, en Lublín, de la que fue Decano desde 1949 a 1952 y Vice-rector desde 1956. Es también catedrático en el Instituto de Historia de la Ciencia de la Academia Polaca de Ciencias y Director de la Sección de Historia de la Química. Es autor de numerosos trabajos sobre química inorgánica y analítica y sobre los primeros tiempos de la química.

E. G. C. BURT

Nació en Somerset en 1922 y estudio en la Universidad de Londres. Se graduó en ingeniería eléctrica en 1943. Se incorporó en 1947 al Departamento de Proyectiles Guiados del *Royal Aircraft Establishment* como Oficial Científico. En 1955 fue nombrado Oficial Científico Principal y Director de la División de Análisis Dinámicos, que se ocupa principalmente del estudio teórico de los problemas de la dirección y control de proyectiles y satélites artificiales. Ha publicado trabajos sobre las técnicas de cómputo analógico, la teoría de los servomecanismos y los efectos de las perturbaciones fortuitas sobre tales sistemas.